

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA INGINERIA SISTEMELOR BIOTEHNICE
ȘCOALA DOCTORALĂ INGINERIA SISTEMELOR BIOTEHNICE**



Rezumatul tezei de doctorat

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND DISTRIBUIREA ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE

(Cuvinte cheie: fertilizare, distribuire, îngrășămintă, organic, agricultura)

Autor:
Ing. Vasilica POPA (ȘTEFAN)

Conducător de doctorat:
Prof.univ.dr.ing. Ladislau DAVID

**București
2020**

REZUMAT

Îngrășămintele organice naturale au fost și vor rămâne principală sursă de îmbunătățire a calității solului prin beneficiile aduse de transformarea acestora în humus. În același timp, distribuirea lor în mod necorespunzător aduce grave prejudicii mediului înconjurător, fiind o sursă importantă de poluare, dacă sunt administrate excesiv și neuniform. Totodată, dacă se administrează în cantități reduse, efectul asupra beneficiilor aduse plantelor nu va fi cel scontat.

Teza de doctorat „*Studii și cercetări privind distribuirea îngrășămintelor organice solide*” prezintă o sinteză a cercetărilor teoretice și experimentale cu privire la determinarea parametrilor constructivi și funcționali optimi ai echipamentelor de distribuit îngrășămintele organice solide care să permită efectuarea unei lucrări eficiente.

Studiul documentar realizat, cu privire la echipamentele de distribuit îngrășămintele organice, evidențiază soluțiile constructive reprezentative. Pentru determinarea parametrilor constructivi optimi, a fost elaborat un model matematic, care prin simulări numerice, a permis optimizarea mașinii de administrat îngrășămintele organice solide cu rotoare verticale. S-a studiat influența diferiților parametri (turația rotoarelor, unghiul înclinare al rotoarelor, coeficientul de frecare dintre îngrășămintele și suprafața metalică, coordonatele inițiale ale punctelor de plecare, debitele de alimentare) și s-au determinat traiectoriile particulelor de la desprinderea de pe spira elicoidală până la aterizarea pe sol. S-au putut determina astfel, distribuții teoretice în diverse condiții de lucru pentru un singur organ de lucru dar și pentru mașina cu patru rotoare.

Pentru validarea modelului matematic propus, s-au efectuat cercetări experimentale privind: debitul specific de material realizat de un rotor al mașinii și de mașină; uniformitatea de distribuție în patru variante de amplasare a rotoarelor; lățimea de lucru optimă; gradul de mărunțire a materialului distribuit; debitul de îngrășămant distribuit și corelat cu viteza de lucru a mașinii pentru o normă impusă; optimizarea parametrilor constructivi și funcționali ai echipamentului de distribuit îngrășămintele (turația rotoarelor distribuitoare; unghiul de înclinare a rotoarelor; debitul de alimentare cu material), în vederea optimizării indicilor calitativi ai lucrării de fertilizare organică

Cercetările experimentale efectuate au permis determinarea formei funcțiilor de regresie multivariabile de formă politropică și polinomială, utile pentru aprecierea indicilor constructivi, funcționali și calitativi ai echipamentului de distribuit îngrășămintele organice solide. S-au făcut unele recomandări pentru distribuirea compostului și a gunoii de grajd semifermentat.

ABSTRACT

Natural organic fertilizers have been and will remain the main source of improving soil quality through the benefits of their turning into humus. At the same time, their improper distribution causes serious damage to the environment, being an important source of pollution if they are administered excessively and unevenly. At the same time, if they are administered in small quantities, the effect on the benefits brought to the plants will not be the expected one.

The PhD. thesis "*Studies and researches on spreading the solid organic fertilizers*" presents a synthesis of theoretical and experimental research on determining the optimal constructive and functional parameters of equipment for spreading solid organic fertilizers that would allow an efficient work.

The documentary research carried out on the equipment for spreading organic fertilizers highlights the representative constructive solutions. In order to determine the optimal constructive parameters, a mathematical model was elaborated, which through numerical simulations, allowed the optimization of the four-rotor machine for organic fertilizer distribution. The influence of different parameters (rotor speed, rotor tilt angle, coefficient of friction between fertilizers and metal surface, initial coordinates of starting points, feed rates) was studied and the trajectories of the particles from detaching from the rotor until reaching the ground were determined. It was thus possible to determine theoretical distributions under various working conditions for a single working rotor but also for the four-rotor machine.

Experimental researches were carried out to validate the proposed mathematical model by: experimental determination of the specific flow of material achieved by a single rotor and by the entire machine; determining the distribution uniformity in four variants of rotor placement; determining the optimal working width; determining the degree of shredding of the distributed material; determining the feed flow and the working speed of the machine for an imposed norm; setting and adjusting the constructive and functional parameters of the equipment for fertilizer distribution (distributing rotor speed, rotor tilt angle, the material feed flow), in order to ensure optimal parameters and to obtain a maximum degree of spreading uniformity.

The experimental tests allowed to determine multivariable regression functions of polytropic and polynomial form for assessing the constructive, functional and qualitative indices of the equipment for spreading solid organic fertilizers. Some recommendations regarding the spreading of compost and semi-fermented manure have been made

CUPRINS

Lista de notații și simboluri	9	6
INTRODUCERE	13	7
CAPITOLUL 1		
IMPORTANȚA ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	17	8
1.1. IMPORTANȚA TEMEI ABORDATE	17	8
1.2. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	19	8
CAPITOLUL 2		
CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE FOLOSITE ÎN AGRICULTURĂ	20	8
2.1. NOȚIUNI DESPRE FERTILITATEA SOLULUI	21	8
2.2. ÎNGRĂȘĂMINTELE ORGANICE SOLIDE FOLOSITE ÎN AGRICULTURĂ	28	9
2.3. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND APLICAREA CORECTĂ A ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE	29	9
2.4. PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE.....	29	9
2.4.1. Conținutul de materie uscată	30	9
2.4.2. Umiditatea	31	9
2.4.3. Densitatea îngrășămintelor organice	31	9
2.4.4. Mărimea particulelor	33	9
2.4.5. Coeficientul de frecare	34	9
2.4.6. Unghiul de taluz natural	35	10
2.4.7. Rezistența la penetrare	36	10
2.4.8. Rezistența la forfecare	37	10
2.5. CONCLUZII	37	10
CAPITOLUL 3		
SOLUȚII CONSTRUCTIVE ALE ECHIPAMENTELOR TEHNICE PENTRU ADMINISTRAREA ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE.....	39	10
3.1. CLASIFICARE	39	10
3.2. INDICATORI DE EVALUARE A PERFORMANȚELOR FUNCȚIONALE ALE MAȘINILOR DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE	40	11
3.3. ECHIPAMENTE TEHNICE CU APARAT DE DISTRIBUȚIE CU ROTOARE ORIZONTALE	41	11
3.3.1. Echipamente de distribuție cu un rotor orizontal	41	11
3.3.2. Echipamente de distribuție cu două rotoare orizontale	44	11
3.3.3. Echipamente de distribuție cu trei rotoare orizontale	45	12
3.4. ECHIPAMENTE TEHNICE CU APARAT DE DISTRIBUȚIE CU ROTOARE VERTICALE ..	48	12
3.5. ECHIPAMENTE TEHNICE CU DISCURI CU PALETE.....	52	13
3.6. ECHIPAMENTE TEHNICE CU DESCĂRCARE LATERALĂ.....	54	13
3.7. ECHIPAMENTE TEHNICE CU ADMINISTRARE DIN GRĂMEZI.....	57	14
3.8. CONCLUZII	58	14
CAPITOLUL 4		
STADIUL-CERCETĂRIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE LUCRU AL ECHIPAMENTELOR DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE	60	15
4.1. DETERMINAREA DEBITULUI DE ALIMENTARE AL APARATULUI DE DISTRIBUȚIE	60	15
4.2. STUDIUL MIȘCĂRII PARTICULELOR DE ÎNGRĂȘĂMÂNT LA APARATUL DE DISTRIBUȚIE ORIZONTAL	61	16
4.3. STUDIUL MIȘCĂRII PARTICULELOR DE ÎNGRĂȘĂMÂNT LA APARATUL DE DISTRIBUȚIE TIP ROTOR CU SPIRĂ DISPUS ÎN PLAN VERTICAL	62	16
4.4. STUDIUL MIȘCĂRII PARTICULELOR DE ÎNGRĂȘĂMÂNT LA APARATUL DE DISTRIBUȚIE TIP DISC CU PALETE	65	17

4.5. CURBELE DE DISTRIBUȚIE ALE ÎNGRĂȘĂMÂNTULUI	69	19
4.6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ALE MAȘINII DE DISTRIBUIT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE MIG-5	73	20
4.7. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ALE MAȘINII DE DISTRIBUIT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE MIG-12	77	21
4.8. CONCLUZII	80	21
CAPITOLUL 5		
MODELAREA MATEMATICĂ A DISTRIBUȚIEI ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE	83	22
5.1. OBIECTIVELE PROGRAMULUI DE MODELARE	83	22
5.2. ALGORITMUL PROGRAMULUI DE MODELARE	84	23
5.3. MIȘCAREA PARTICULEI DE ÎNGRĂȘĂMÂNT ÎN FUNCȚIE DE COEFICIENTUL DE FRECARĂ.....	95	25
5.4. MIȘCAREA PARTICULEI DE ÎNGRĂȘĂMÂNT ÎN FUNCȚIE DE TURAȚIA ROTORULUI	100	26
5.5. MIȘCAREA PARTICULEI DE ÎNGRĂȘĂMÂNT ÎN FUNCȚIE DE UNGHIUL DE ÎNCLINARE AL ROTORULUI	105	28
5.6. DISTRIBUȚIA TEORETICĂ PE SOL A ÎNGRĂȘĂMÂNTULUI SOLID	106	28
5.7. CONCLUZII	118	29
CAPITOLUL 6		
ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE ALE MAȘINII DE DISTRIBUIT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE	120	30
6.1. OBIECTIVELE CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE.....	120	30
6.2. PROGRAMUL EXPERIMENTĂRILOR.....	121	30
6.3. PREZENTAREA ECHIPAMENTULUI UTILIZAT LA ÎNCERCĂRI	123	31
6.4. ÎNCERCĂRI PRELIMINARII	125	31
6.5. ÎNCERCAREA EXPERIMENTALĂ LA STAȚIONAR A ROTORULUI CU SPIRĂ ELICOIDALĂ	127	31
6.6. ÎNCERCAREA LA STAȚIONAR A MAȘINII DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE	132	32
6.6.1. Determinarea variantei optime de amplasare a rotoarelor	132	32
6.6.2. Încercarea la staționar a mașinii de distribuit îngrășăminte solide	137	32
6.7. ÎNCERCAREA EXPERIMENTALĂ ÎN LUCRU A MAȘINII DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE	138	32
6.7.1. Metodica încercărilor experimentale și efectuarea încercărilor în lucru	138	32
6.7.2. Determinarea experimentală a unor indici energetici ai mașinii	147	33
6.7.2.1. <i>Forța de tracțiune</i>	147	33
6.7.2.2. <i>Forța de apăsare a proțapului mașinii pe dispozitivul de remorcare la tractor</i>	148	33
6.7.2.3. <i>Momentul rezistent la acționarea rotoarelor</i>	149	33
6.7.2.4. <i>Puterea necesară pentru tracțiunea mașinii</i>	150	33
6.7.2.5. <i>Puterea necesară pentru acționarea rotoarelor distribuitoare</i>	151	33
6.8. CONCLUZII	151	33
CAPITOLUL 7		
PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE	153	34
7.1. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE OBTINUTE LA ÎNCERCAREA LA STAȚIONAR A ROTORULUI DISTRIBUITOR.....	153	34
7.2. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE OBTINUTE LA ÎNCERCAREA LA STAȚIONAR A MAȘINII DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE SOLIDE	158	35
7.3. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE OBTINUTE LA ÎNCERCAREA ÎN LUCRU A MAȘINII DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE SOLIDE.....	163	36
7.3.1. Determinarea calității granulometrice a materialului administrat	163	36
7.3.2. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru indicii calitativi de lucru	165	37
7.3.2.1. <i>Algoritmul de calculul al coeficienților funcțiilor multivariabile</i>	165	37
7.3.2.2. <i>Determinarea funcțiilor multivariabile pentru gradul uniformității de distribuție a compostului</i>	169	37

7.3.2.3. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru gradul uniformității de distribuție pentru gunoi semi fermentat	176	39
7.3.2.4. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru norma de îngrășământ distribuită	181	40
7.4. CONCLUZII	184	41
CAPITOLUL 8		
CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII, PERSPECTIVE	186	42
8.1. CONCLUZII GENERALE	186	42
8.2. CONTRIBUȚII PERSONALE	193	43
8.3. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	194	44
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	195	44

LISTA DE NOTAȚII ȘI SIMBOLURI

CAPITOLUL 2

-	-
U [%]	- umiditatea materialului
ρ [kg/m ³]	- densitatea îngrășământului
TS [%]	- total solide
X_{gm} [mm]	- lungimea particulei
μ	- coeficient de frecare

CAPITOLUL 4

q_t [kg/s]	- debitul transportorului
B_t [m]	- lățimea transportorului
h [m]	- înălțimea stratului de îngrășământ din benă
v_t [m/s]	- viteza transportorului

CAPITOLUL 5

F_f [N]	- forța de frecare între particulă și suprafața elicoidală
F_c [N]	- forța centrifugă
G [N]	- forța de greutate a particulei
N [N]	- normala la suprafață
v_θ, v_r [rad/s]	- viteza unghiulară și radială
a_θ, a_r, a_n [m/s ²]	- accelerația unghiulară, radială și normală

CAPITOLUL 6

S_1, S_2, S_3 [m ²]	- suprafețele determinate de particulele plecate din cele 3 zone ale spirei elicoidale
A_{1-7} [m ²]	- ariile suprafețelor determinate după suprapunerea suprafețelor S_1, S_2 și S_3
Q [kg/s]	- debitul mașinii
S_i [m ²]	- aria zonei investigate
σ_i [kg/m ² ·s]	- debit specific de material
G_{ud} [%]	- gradul uniformității de distribuție

CAPITOLUL 7

g_m [%]	- grad de mărunțire
x_1, x_2, x_3	- unde sunt variabilele independente
y	- variabilă dependentă
$G_{ud(I)}$	- funcția politropică ce exprimă gradul de uniformitate al compostului / gunoi semi-fermentat
$G_{ud(II)}$	- funcția polinomială ce exprimă gradul de uniformitate al compostului/ gunoi semi-fermentat
N	- funcția polinomială ce exprimă norma de îngrășământ administrată

INTRODUCERE

Teza de doctorat „*Studii și cercetări privind distribuirea îngrășămintelor organice solide*” este structurată în 8 capitole, dezvoltate în 201 pagini care cuprind 177 figuri, 78 tabele, 165 relații matematice, 16 anexe însumând 37 de pagini și o listă bibliografică alcătuită din 153 referințe.

În **Capitolul 1** „*Importanța și obiectivele tezei de doctorat*” se prezintă importanța temei abordate și obiectivele urmărite la elaborarea tezei.

Capitolul 2 intitulat „*Considerații generale privind și îngrășămintele organice folosite în agricultură*” prezintă importanța fertilizării cu îngrășăminte organice precum și proprietățile fizice și mecanice ale îngrășămintelor care influențează procesul de distribuție cu echipamentele tehnice specializate.

Capitolul 3 denumit „*Soluții constructive și funcționale ale echipamentelor tehnice pentru administrarea îngrășămintelor organice solide*” prezintă tipurile de mașini și echipamentele utilizate pentru distribuirea îngrășămintelor organice solide evidențiind soluțiile constructive, caracteristicile tehnice și funcționale, precum și procesul de lucru realizat de acestea.

În **Capitolul 4** numit „*Stadiul cercetărilor teoretice și experimentale privind procesul de lucru al echipamentelor de administrat îngrășămintele organice solide*” se prezintă o sinteză a cercetărilor teoretice și experimentale cu privire la distribuirea îngrășămintelor organice solide. În primul rând se prezintă aspecte teoretice privind mișcarea particulelor atât pe suprafața aparatului de distribuție cât și în spațiu, determinându-se principalii factori care influențează distribuția. Stadiul actual al cercetărilor experimentale prezintă o serie de rezultatele obținute experimental de cercetători în domeniul distribuirii îngrășămintelor organice.

În **Capitolul 5** „*Modelarea matematică a distribuției îngrășămintelor organice solide*” se prezintă modelarea matematică a procesului de distribuție al îngrășămintelor organice solide pentru aparatul de distribuție de tip rotor cu spiră elicoidală. Modelul permite studierea teoretică a comportării sistemului tehnic la acțiunea diferiților factori constructivi și funcționali, pentru diferite condiții de lucru, prin simularea pe calculator.

Capitolul 6 „*Încercări experimentale ale mașinii de distribuit îngrășămintele organice solide*” prezintă metodică de încercare la staționar și în lucru a mașinii de distribuit îngrășămintele organice solide precum și încercările experimentale realizate la staționar și în lucru cu mașina de distribuit îngrășămintele organice.

În **Capitolul 7** „*Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale*” se prezintă algoritmul de calcul al coeficienților funcțiilor multivariabile de formă politropică și polinomială. Au fost determinate funcțiile multivariabile pentru debitul specific de material în plan transversal și longitudinal, gradul de uniformitate al distribuției și norma de îngrășământ distribuit la hectar.

În **Capitolul 8** „*Concluzii generale, contribuții, perspective*” se prezintă concluziile generale ale cercetărilor teoretice și experimentale prezentate în teza de doctorat, contribuțiile personale, valorificarea rezultatelor și direcțiile viitoare de cercetare.

CAPITOLUL I

IMPORTANȚA ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

1.1. Importanța temei abordate

Necesitatea lucrării de fertilizare a solului vine pe fondul unei creșteri continue a cerinței de produse agricole ecologice dar și pentru refacerea terenurilor agricole degradate.

Neuniformitatea distribuției îngrășămintelor pe sol face ca, în unele zone, cantitățile reduse de îngrășămintă să nu contribuie nici la îmbunătățirea calității solului și nici ca supliment nutritiv pentru plante. Totodată, în cantități prea mari se poate realiza o poluare locală a solului, implicit a pânzei de apă freatică.

Deși aceste echipamente s-au dezvoltat continuu, uniformitatea distribuției pe lățimea totală de împrăștiere nu se încadrează în cerințele agrotehnice, deoarece în extremitățile laterale ale fâșiei de împrăștiere cantitățile de material distribuit sunt mult mai mici decât în centrul acesteia. De aceea este necesar ca datele obținute la o singură trecere a mașinii să fie prelucrate în vederea stabilirii unei lățimi optime de lucru, prin metoda suprapunerii la o următoare trecere.

În contextul creșterii cererii de produse agricole ecologice dar și din considerente privind protecția mediului înconjurător, perfecționarea continuă a mașinilor de distribuit îngrășămintă organice solide reprezintă o preocupare necesară și indispensabilă a cercetătorilor în domeniu [23].

1.2. Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivul principal al lucrării îl reprezintă optimizarea procesului de distribuire a îngrășămintelor organice solide. Printre obiectivele specifice ale tezei se numără:

- elaborarea unei sinteze privind proprietățile fizico – mecanice ale îngrășămintelor organice solide care influențează procesul de lucru al mașinii;
- studiul construcției echipamentelor de distribuit îngrășămintă organice dar și a procesului de lucru;
- modelarea matematică a procesului de lucru și elaborarea unui program de modelare al mașinii de distribuit îngrășămintă organice solide pentru a analiza influența diferiților parametri constructivi și funcționali ai mașinii;
- realizarea unor simulări numerice care să permită trasarea traiectoriilor particulelor de îngrășămintă atât pe suprafața rotorului distribuitor cât și în spațiu, până la căderea lor pe sol, în scopul furnizării unor recomandări privind parametrii constructivi și funcționali ai mașinii;
- realizarea unor cercetări experimentale ale unui singur rotor distribuitor dar și a mașinii în lucru în scopul validării modelului matematic propus;
- determinarea unor funcții multivariabile pentru calculul indicilor calitativi de lucru ai mașinii: grad de uniformitate al distribuției, norma de îngrășămintă, lățime de lucru pentru care gradul de uniformitate este corespunzător normelor în vigoare .

CAPITOLUL II

CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND PROPRIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE FOLOSITE ÎN AGRICULTURĂ

2.1. Noțiuni despre fertilitatea solului

În acest sub-capitol se prezintă noțiuni despre fertilitatea solului prin creșterea conținutului de humus dar și o serie de beneficii aduse solului prin realizarea fertilizării cu

îngrășăminte organice. Dintre acestea amintim: creșterea porozității și permeabilității pentru aer și apă [27, 28], aprovizionarea cu elemente nutritive pentru plante, se reduce densitatea aparentă odată cu creșterea conținutului de materie organică administrată; reducerea rezistenței la lucrările solului; crește rezistența solului la eroziune eoliană și hidrică;

2.2. Îngrășămintele organice solide folosite în agricultură

Cele mai des întâlnite îngrășăminte organice sunt: gunoiul de grajd, compostul, diferite resturi vegetale, îngrășăminte verzi, resturi menajere, mranita, urina și mustul de grajd, gunoiul de la păsări, nămolurile provenite din stații de epurare a apelor uzate sau de pe fundul lacurilor (sapropel), turba, biocharul sau bio-carbonul

Dintre îngrășămintele organice naturale, cel mai important și facil de procurat este gunoiul de grajd.

2.3. Considerații generale privind aplicarea corectă a îngrășămintelor organice

Se prezintă indicații pentru aplicarea corectă a îngrășămintelor atât cantitativ cât și din punct de vedere al perioadei de aplicare, recomandări privind platformele de compostare și reguli pentru protecția mediului înconjurător împotriva poluării cu nitrați. De asemenea, se fac recomandări pentru aplicarea cât mai uniformă a acestora.

2.4. Proprietățile fizico-mecanice ale îngrășămintelor organice solide

Caracteristicile fizico-mecanice ale îngrășămintelor organice care influențează calitatea lucrării de fertilizat sunt prezentate în acest subcapitol.

2.4.1. Conținutul de materie uscată

Conținutul de materie uscată se determină prin metoda gravimetrică, prin pierderea conținutului lichid după ce proba este uscată într-o etuvă electrică la temperatura $105 \pm 0,5^\circ\text{C}$, unde se ține până la masa constantă:

$$MU = \frac{m_f}{m_i} \cdot 100 [\%] \quad (2.1)$$

unde m_i - masa inițială a probei cântărită înainte de uscare, [g]; m_f - masa finală a probei cântărită după uscare, [g]

2.4.2. Umiditatea

Umiditatea materialului (U) sau conținutul de lichid din acesta, reprezintă masa de lichid care se pierde în timpul uscării în etuvă. Aceasta se calculează cu 2.2 [59, 60]:

$$U = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

unde m_i - masa inițială a probei cântărită înainte de uscare, [g]; m_f - masa finală a probei cântărită după uscare, [g].

2.4.3. Densitatea îngrășămintelor organice

Densitatea materialului care urmează a fi distribuit se determină prin cântărirea masei încărcată în bena mașinii, raportată la volumul benei [33, 60]:

$$\rho = \frac{M_g}{V_m} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.3)$$

unde ρ este densitatea [kg/m^3]; M_g - masa de gunoi din benă, [kg]; V_m - volumul benei, [m^3].

2.4.4. Mărimea particulelor

Această caracteristică este foarte importantă deoarece, după distribuire, agregatele în care se prezintă particulele de gunoi de grajd trebuie să nu depășească 6 cm lungime. Dacă particulele au dimensiuni mai mari, fertilizarea se va realiza excedentar în zonele respective [64, 65, 66].

2.4.5. Coeficientul de frecare

Coeficientul de frecare dintre material și diverse suprafețe utilizate în construcția echipamentelor pentru aplicarea îngrășămintelor organice solide este un factor foarte important de studiat întrucât acesta dă indicații despre lungimea de distribuție și momentul desprinderii îngrășămintelor de pe paletele sau spirele aparatului de distribuție.

2.4.6. Unghiul de taluz natural

Unghiul de taluz natural reprezintă unghiul dintre generatoarea conului de material vărsat și suprafață plană orizontală pe care acesta se depune liber. Se prezintă o metodă de determinare a unghiului de taluz natural, aflat în strânsă corelație cu consistența materialului, care poate fi observată vizual, având valori cuprinse între 4° și 50° [67].

2.4.7. Rezistența la penetrare

Rezistența la penetrare reprezintă capacitatea îngrășămintelor organice solide de a se opune pătrunderii unui corp rigid. Aceasta scade pe măsură ce umiditatea crește [61].

2.4.8. Rezistența la forfecare

Pentru determinarea în teren a rezistenței la forfecare a îngrășămintelor organice, se utilizează un aparat de forfecare cu palete. Rezistența la forfecare τ variază de la 3 kPa la 50 kPa [57]. La introducerea aparatului în masa de material, o mare problemă apărută la determinarea rezistenței la forfecare a fost conținutul mare de paie

2.5. Concluzii

Îngrășăminte organice folosite în agricultură sunt: *gunoiul de grajd, compostul, nămolurile de la stațiile de epurare, gunoiul de păsări, biocharul, îngrășămintele verzi, resturile vegetale*. Dintre acestea cel mai reprezentativ este gunoiul de grajd cunoscut pentru valoarea agrochimică și agronomică remarcabilă.

Proprietățile fizico-mecanice care influențează cel mai mult performanțele echipamentelor tehnice de manipulare și distribuție sunt: conținutul de materie uscată, densitatea, mărimea particulelor; caracteristicile de fricțiune (coeficientul de frecare statică); rezistența la forfecare; unghiul de taluz natural.

CAPITOLUL III

SOLUȚII CONSTRUCTIVE ALE ECHIPAMENTELOR TEHNICE PENTRU ADMINISTRAREA ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE

În acest capitol se prezintă diferite tipuri constructive de aparate de distribuție utilizate pentru distribuirea îngrășămintelor organice solide.

3.1. Clasificare

Mașinile de administrat îngrășăminte organice solide sunt destinate administrării pe suprafața solului în special a gunoiului de grajd și a compostului [69] și pot fi clasificate după mai multe criterii dar cel mai important este cel din punct de vedere al *aparatului de distribuție*. Aceste mașini pot avea aparat de distribuție cu rotoare orizontale, cu rotoare verticale, cu discuri centrifugale și rotoare de mărunțire, cu lanțuri și greutatea; aparat tip turbină cu palete;

3.2. Indicatori de evaluare a performanțelor mașinilor de administrat îngrășăminte organice

Pentru evaluarea performanțelor mașinilor de administrat îngrășăminte organice solide cei mai importanți indicatori sunt [66, 69]: norma de îngrășământ, debitul de alimentare debitul specific, lățimea maximă de distribuție, lățimea efectivă de lucru, uniformitatea de distribuție transversală, uniformitatea de distribuție longitudinală.

3.3. Echipamente tehnice pentru fertilizarea solului cu aparat de distribuție cu rotoare orizontale

Din analiza soluțiilor mașinilor realizate pe plan intern și internațional, se remarcă existența mai multor variante constructive ale aparatelor de distribuție cu rotoare orizontale.

3.3.1. Echipamente de distribuție cu un rotor orizontal

Din prima categorie fac parte mașinile cu aparat de distribuție cu un singur rotor dispus orizontal, reprezentat schematic în fig.3.1.

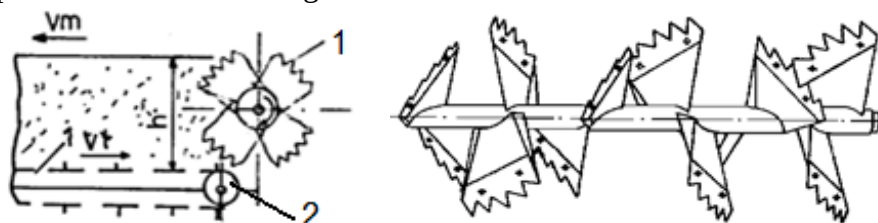


Fig. 3.1. Mașină cu aparat de distribuție cu un rotor dispus orizontal [69]

Organele active sunt palete cu cuțite zimțate dispuse pe 2 spire elicoidale simetrice stânga-dreapta față de axa centrală a mașinii și sunt sudate pe un ax, formând împreună rotorul de distribuție. Paletele sunt dispuse înclinat pentru obținerea unei lățimi maxime de distribuție dar și pentru asigurarea uniformității de distribuție transversale.

Mașinile de distribuit îngrășăminte organice, construite pe acest principiu realizează zone de împrăștiere egale cu $(1...1,5) \cdot B_t$, B_t fiind lățimea benei. Diametrul rotoarelor de distribuție este, în general, de 300...550 mm, iar viteza periferică de 4...12 m/s ($n = 300...850$ rot/min).

3.3.2. Echipamente de distribuție cu două rotoare orizontale

Mașinile de distribuit cu două rotoare orizontale, pot distribui o cantitate mai mare de material pentru că înălțimea benei mașinii este dublă comparativ cu prima variantă. Pentru a uniformiza materialul în zona de descărcare, s-a realizat un element de uniformizare cu degete (fig.3.8 și 3.9) dispus în partea superioară a rotorului de împrăștiere [80].

Aceste mașini au un mare dezavantaj și anume lățimea mică de distribuție a îngrășămintelor, între 2 și 4 m, fiind necesar un număr mai mare de treceri, rezultând implicit tasarea solului în timpul realizării lucrării de fertilizare și un consum mare de combustibil pe unitatea de suprafață fertilizată.



Fig. 3.8. Mașina de distribuit gunoi de Grajd MIG-6 [80]



Fig.3.9. Mașina Pronar N161 [81]

3.3.3. Echipamente de distribuție cu trei rotoare orizontale

În scopul îmbunătățirii procesului de fertilizare au fost dezvoltate permanent soluțiile constructive ale aparatelor de distribuție cu rotoare orizontale, ajungându-se la realizarea unor aparate cu trei rotoare de împrăștiere, de diferite forme, cu senzori de mișcare diferite [85].



Fig.3.14. Aparatul de distribuție al mașinii MIG 10
1.rotor superior; 2. rotor intermediar,
3 rotor inferior [86]



Fig.3.15. Mașină cu trei rotoare orizontale [88]

Concluzionând, se poate afirma că deși s-au realizat aparate de distribuție chiar cu trei rotoare, deși s-au îmbunătățit continuu soluțiile constructive ale organelor active din componența rotoarelor, acestea influențează favorabil doar gradul de mărunțire a îngrășământului distribuit și ajută la obținerea unor uniformități de distribuție longitudinală și transversală mai bune, lățimea de distribuție este redusă, ajungând la dublul lățimii benei mașinii. Acest lucru face ca lucrarea de fertilizare să fie îndelungată, necesitând multe treceri pe sola de fertilizat producându-se astfel tasarea accentuată a solului.

3.4. Echipamente tehnice pentru fertilizarea solului cu aparat de distribuție cu rotoare verticale

Mașinile cu aparat de distribuție cu rotoare dispuse în plan vertical au organele de lucru construite similar cu cele prezentate la punctul anterior, cu mențiunea că, la baza rotoarelor, au prevăzute discuri cu palete. Rotoarele sunt în număr par, două sau patru și se rotesc în direcții opuse, jumătate stânga, jumătate dreapta.

În timpul lucrului, spirele rotoarelor antrenează materialul de înălțime h , adus de transportorul, îl fragmentează și-l evacuează din mașină. Lățimea zonei de împrăștiere în cazul acestor mașini reprezintă $(3...5) B_t$, unde B_t este lățimea benei mașinii [69].



Fig. 3.24. Mașină distribuit cu 4 rotoare verticale cu spira continuă [90]



Fig. 3.26. Mașină distribuit gunoi de grajd cu 2 rotoare verticale cu palete [82]

La variantele cu două rotoare verticale se observă diametre mari astfel încât să se preia materialul adus de transportor. Acționarea rotoarelor se face prin APP în toate variantele constructive.

3.5. Echipamente tehnice pentru fertilizarea solului cu discuri cu palete

Mașinile de administrat îngrășăminte cu dispozitiv de distribuție cu rotoare orizontale au fost îmbunătățite prin adăugarea de *discuri centrifugale* la baza transportorului (fig.3.29) [93].

La acest tip de echipamente turația rotoarelor orizontale este mult mai mică acestea având doar rol de mărunțire al materialului. Materialul astfel mărunțit cade pe discurile cu palete și este împrăștiat prin centrifugare, discurile având o turație de 400 - 700 rot/min .

Cu acest sistem se observă că lățimea de distribuție crește de la 2...3 m la 10...12 m, materialul fiind mult mai bine mărunțit, dar împrăștiat într-un strat mai subțire. Rotoarele orizontale, amplasate în spatele benei nu mai împrăștie materialul pentru ca acesta este oprit de un paravan de care se izbesc și cad apoi pe discurile cu palete dispuse în partea inferioară sub buncăr, lățimea de lucru putând fi reglată din limitatoarele stânga/dreapta (fig.3.29) [94].



Fig.3.29. Aparat de distribuție centrifugal

3.6. Echipamente tehnice pentru fertilizarea solului cu descărcare laterală

O altă categorie de mașini sunt cele la care distribuția se face în partea laterală a mașinii (fig. 3.32). Aparatul de distribuție este un rotor dispus orizontal în zona evacuării, care distribuie atât îngrășăminte solide cât și semi-lichide.



Fig.3.32. Mașină de distribuit îngrășăminte organice cu descărcare în laterala SAMAS [96]



Fig.3.37. Mașină de distribuit cu aparat de distribuție tip turbină [93, 95]

Mașina are pe fundul benei un transportor cu palete dispuse după o linie elicoidală care mărunțește și aduce materialul către gura de evacuare de unde este preluat de aparatul de distribuție.

O altă variantă de sistem de distribuție cu descărcare laterală este sistemul tip turbină de diametru mare, reprezentată în fig.3.37, acționat prin intermediul unui grup de acționare, de

la priza de putere a tractorului. Prin orientarea gurii de evacuare a turbinei și prin modificarea poziției paletelor deflectoare se pot realiza lățimi de lucru variabile, iar prin modificarea vitezei transportorului și a turației turbinei se pot administra diferite norme de îngrășământ pe unitatea de suprafață.

3.7. Echipamente tehnice pentru fertilizarea solului cu administrare din grămezi

Echipamentele tehnice care distribuie îngrășăminte organice direct din grămezile lăsate pe câmp sunt de fabricație mai veche și sunt utilizate și la mărunțirea frunzelor de sfeclă de zahar sau paie ce rămân în urma combinelor pe câmp.

Mașina de administrat îngrășăminte organice din grămezi, ROTO-4 (Franța) este o mașina purtata, ușoară, simplă dar cu o construcție robustă (fig.3.42).

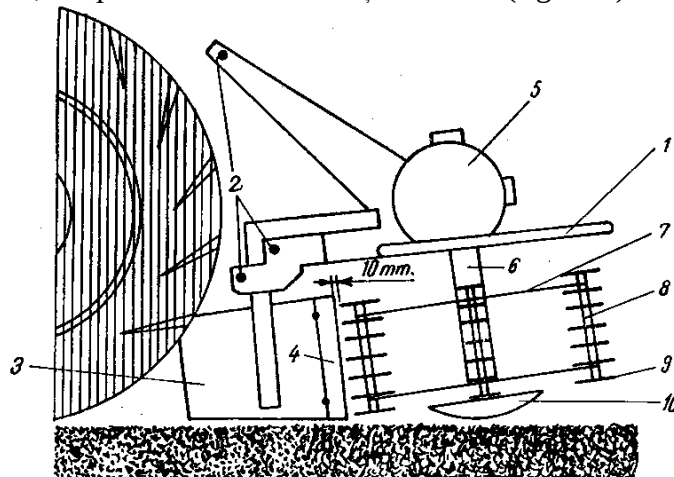


Fig.3.40. Mașină de administrat îngrășăminte organice din grămezi ROTO 4 [71, 101]

Peste îngrășământul lăsat în grămezi la distanță de 5 m una de alta, se trece cu mașina al cărei tambur se află în mișcare de rotație, în sensul invers acelor ceasornicului dislocandu-l și distribuindu-l.

3.8. Concluzii

Performanțele echipamentelor de distribuit îngrășăminte organice sunt influențate de următoarele caracteristici fizico-mecanice ale îngrășămintelor: conținutul de materie uscată, densitatea, dimensiunile particulelor, caracteristicile de frecare și proprietățile de forfecare.

Capacitatea de lucru a mașinilor este influențată de lățimea de distribuție, de viteza de deplasare a agregatului, de volumul util al benei.

Mașinile de distribuit gunoi de grajd cu rotoare orizontale realizează lățimi de lucru de cca. $(1 \dots 1,5) B_t$, B_t fiind lățimea mașinii. Diametrul rotoarelor de împrăștiere este, în general, de 300...550 mm, iar viteza periferică de 4...12 m/s ($n = 300 \dots 850$ rot/min), lățimea ajungând la 2...3,5 m [69].

Mașinile de distribuit îngrășăminte cu rotoare verticale realizează lățimi de lucru de $(3 \dots 5) B_t$. Diametrul rotoarelor de împrăștiere este de 450...600 mm, iar turația de 300...950 rot/min în funcție de tractorul din agregat.

Mașinile cu aparat de distribuție cu discuri centrifugale, plasate la baza rotoarelor orizontale, realizează cele mai mari lățimi de distribuție, ajungând până la cca. 22 m, în condițiile unui grad de mărunțire superior.

Puterea necesară acționării transportoarelor de alimentare variază între 5-6,5 CP (7-9 kW), pentru acționarea aparatelor de distribuție 10-15 CP (7-11 kW).

CAPITOLUL IV

STADIUL CERCETĂRIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE LUCRU AL ECHIPAMENTELOR DE ADMINISTRAT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE

4.1. Determinarea debitului de alimentare al aparatului de distribuție

Cele mai utilizate sisteme de alimentare cu material a aparatului de distribuție sunt *transportoarele cu raclete*. Racletele sunt de secțiuni diferite fiind montate pe două sau patru lanțuri. Debitul transportorului este [69]:

$$q_t = B_t h v_t \rho \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1)$$

în care B_t este lățimea transportorului, în m;

h – înălțimea stratului de îngrășământ din benă, în m ;

v_t – viteza transportorului, în m/s ;

γ -densitatea a îngrășământului din benă, în kg/m^3 ;

Considerând cantitatea de îngrășământ ce trebuie distribuită pe unitatea de suprafață N (kg/ha), debitul q_t necesar va fi [69]:

$$q_t = B_t v_m \frac{N}{10^4} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.2)$$

în care:

B_m este lățimea de lucru (de împrăștiere) a mașinii, în m;

v_m - viteza de înaintare a mașinii, în m/s.

4.2. Studiul mișcării particulelor de îngrășământ la aparatul de distribuție orizontal

În timpul procesului de lucru rotorul orizontal cu palete preia materialul din mașină și îl aruncă în spatele acesteia (fig.4.4) .

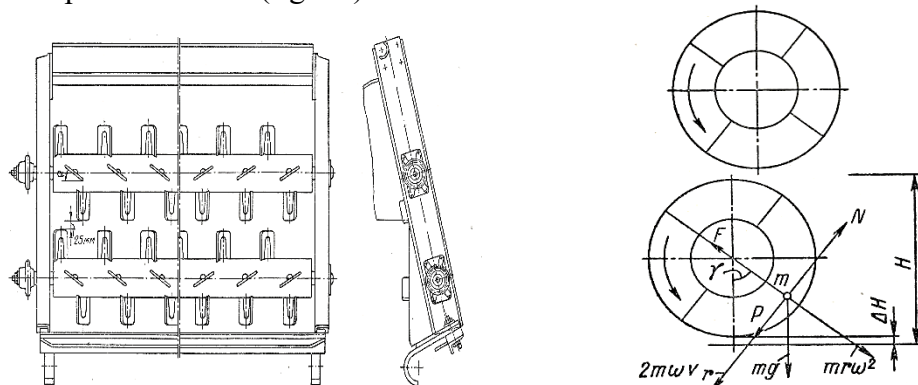


Fig.4.1. Schema acțiunii forțelor asupra masei de material pe paleta rotorului [102]

Particula va fi aruncată de pe paletă după ce ea va fi dislocată din masa de material aflată în benă. Pentru ca materialul să fie aruncat în spatele mașinii și nu întors în buncăr, aruncarea trebuie să aibă loc în partea superioară a cadranelui 2 al circumferinței rotorului, adică, în cazul unghiului de rotire a palete $\gamma = 180^\circ$, iar acesta este posibil, dacă distribuitorul este încărcat cu un strat de material $H > D + \Delta H$ (D = diametrul biterului, ΔH – distanța dintre paletele rotorului și fundul benei, fig.4.1) [102].

Aruncarea masei de material de pe paleta rotorului este posibilă dacă [102]:

$$m_g \cos \gamma + m \omega^2 r \geq \mu (m g \sin \gamma + 2 m \omega v_r) m g \quad (4.4)$$

unde μ – coeficientul de frecare dintre particulă și paletă ;

v_r – viteza relativă de-a lungul paletei

Forța cu care este aruncată masa de material de pe paletă va fi

$$R = mg \cos \gamma + m \omega^2 r - \mu (mg \sin \gamma + 2m \omega v_r) \quad (4.5)$$

Egalând ecuațiile (4.4) și (4.5) și ignorând membrul $2m \omega v_r$ din cauza valorii mici ale vitezei v_r , se obține viteza relativă a materialului este [102]:

$$v_0 = \sqrt{\frac{1}{k_n} [g \cos(\gamma + \varphi) + \omega^2 r]} \quad (4.8)$$

Pentru mărirea lățimii de distribuție, paletetele se fixează pe ax sub un unghi α față de axa de rotație (fig. 4.2). În acest caz, datorită înclinării paletetei, va apărea componenta vitezei absolute $v_0 \cos \alpha$ de-a lungul axei rotorului, egală cu $v_0 \cos \alpha \sin \alpha$, care va influența majorarea lățimii de distribuție. Este evident, că valoarea maximă a lățimii de împrăștiere va fi în cazul valorii maxime a componentei $v_0 \cos \alpha \sin \alpha$, iar aceasta este posibil în cazul când $\alpha = 45^\circ$. Pentru creșterea lățimii s de distribuție paletetele se amplasează înclinat atât într-o direcție, cât și în cealaltă direcție, în părți egale. (fig.4.3).

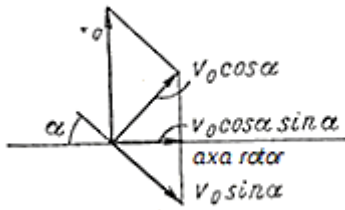


Fig. 4.2. Determinarea componentei vitezei pe axa rotorului [102]

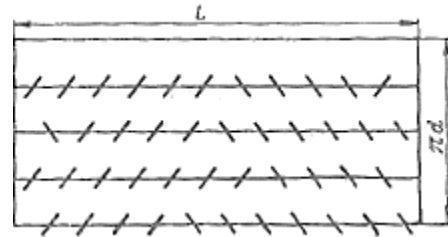


Fig. 4.3. Schema amplasării paletelor înclinate [102]

4.3. Studiul mișcării particulelor de îngrășămintă la aparatul de distribuție tip rotor cu spiră dispus în plan vertical

În timpul procesului de lucru, cinematica particulelor de îngrășămintă antrenate de aparatul de distribuție dispus în plan vertical este influențată de forța de greutate a particulei, forța de frecare dintre particulă și peletele rotorului și forța centrifugă care acționează asupra particulei.

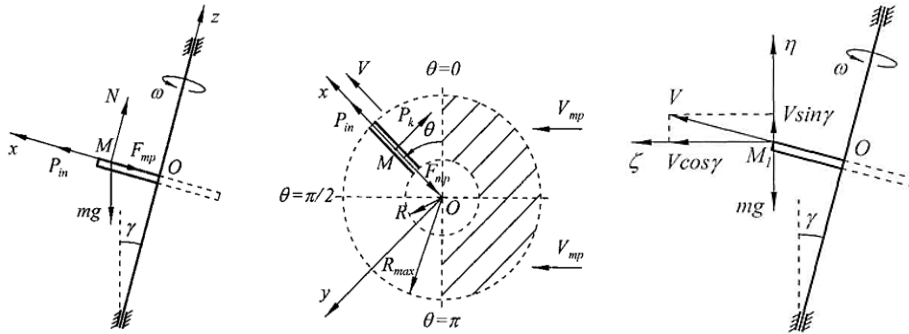


Fig. 4.4. Forțele care acționează asupra punctului material M, la un rotor cu spiră înclinat [89]

Pe suprafața rotorului se considera un punct material de îngrășămintă, M, care are o mișcare complexă, caracterizată prin ecuațiile parametrice de mișcare, pe cele trei axe, Ox, Oy și Oz (fig. 4.4) [89].

$$\begin{cases} m \ddot{x} = P_{in} - F_{mp} - mg \sin \gamma \sin \theta; \\ m \ddot{y} = -P_k - mg \sin \gamma \cos \theta; \\ m \ddot{z} = N - mg \cos \gamma. \end{cases} \quad (4.9)$$

unde:

m este masa punctului material;

$\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ - accelerația pe Ox, Oy, Oz ;
 P_{in} - forța centrifugă;
 F_{mp} – forța de frecare pe suprafața discului;
 g – accelerația gravitațională;
 N – reacțiunea normală la suprafața spirei;
 θ, γ – unghiurile față de axe;
 ω – viteza unghiulară a rotorului ;

M- poziția în care se află punctul material de îngrășământ, pe spirală.

În conformitate cu ipotezele $y = \dot{y} = \ddot{y} = 0$ și $z = \dot{z} = \ddot{z} = 0$, și ținând cont de ecuația (4.9), se obțin pentru forța normală la spirală, N :

$$N = mg \cos \gamma \quad (4.10)$$

Forța de frecare F_{mp} este dată de relația:

$$F_{mp} = fN = f \cdot mg \cdot \cos \gamma \quad (4.11)$$

unde f este coeficientul de frecare de alunecare dintre particula de gunoi și suprafața spirei.

Forța centrifugă este dată de relația $P_{in} = m\omega^2 x$ (4.12)

Ținând cont că $\theta = \omega t$ precum și de relațiile (4.10) și (4.11), din ecuația (4.9) se

deduce: $\ddot{x} - \omega^2 x = -g \sin \gamma (\omega t) - fg \cos \gamma$ (4.13)

Rezolvarea ecuației diferențiale va conduce la ecuația deplasării pe Ox, funcție de timp: $x(t) = x^* + \bar{x}$ rezultând $\dot{x} = C_1 \omega e^{\omega t} - C_2 \omega e^{-\omega t} + \frac{g \sin \gamma}{2\omega} \cos \gamma$ (4.18)

Mișcarea în aer după desprinderea de pe rotor este dată de:

$$\begin{cases} m\ddot{\eta} = -mg; \\ m\ddot{\zeta} = 0. \end{cases} \quad (4.19)$$

unde avem: $t = t_0 = 0; \eta_0 = \eta(0) = 0; \xi_0 = \xi(0) = 0; \dot{\eta}_0 = V \sin \gamma; \dot{\zeta}_0 = V \cos \gamma$, (4.20)

atunci:

$$\begin{cases} \eta = -\frac{gt^2}{2} + Vt \sin \gamma; \\ \zeta = Vt \cos \gamma. \end{cases} \quad (4.21)$$

iar timpul până la aterizarea pe sol este:

$$t_n = \frac{V \sin \gamma + \sqrt{V^2 \sin^2 \gamma + 2gH'}}{g}. \quad (4.22)$$

iar intervalul de zbor este:

$$\xi_n = \left(\frac{V \sin \gamma + \sqrt{V^2 \sin^2 \gamma + 2gH'}}{g} \right) V \cos \gamma. \quad (4.23)$$

4.4. Studiul mișcării particulelor de îngrășământ la aparatul de distribuție tip disc cu palete

S-a considerat un aparat de distribuție a îngrășământului solid alcătuit dintr-un rotor cu palete și disc staționar, figura 4.5.

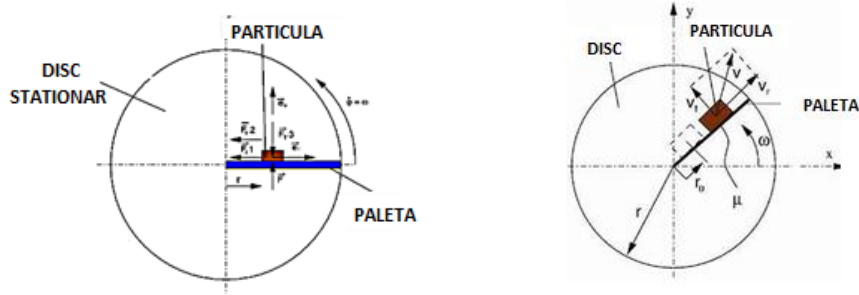


Fig.4.5. Vedere de sus ale aparatului alcătuit din rotor cu palete și disc staționar [104]

Mișcarea particulei este descrisă de legile dinamicii iar pentru simplificare se folosește sistemul de coordonate polare. Mișcarea particulei este dată de ecuațiile în direcția radială ($\vec{e}_r$), direcția tangențială ($\vec{e}_\varphi$).

Pe direcția radială acționează forța de frecare ($\vec{F}_T1$) dintre particulă și discul staționar, forța de frecare ($\vec{F}_T2$) dintre paletă și particulă, forța radială ($m \cdot \vec{a}_r$) (fig.4.5).

Pe direcția tangențială ($\vec{e}_\varphi$) asupra particulei acționează (fig.4.5): forța tangențială ($m \cdot \vec{a}_\varphi$) și forța paletei ($\vec{F}$) care cauzează apariția forței de frecare ($\vec{F}_T2$) dintre particulă și paletă. De asemenea trebuie luată în considerare forța de frecare dintre particulă și suprafața discului ($\vec{F}_T3$) [104].

Ecuațiile mișcării sunt următoarele [104]:

$$\text{Pe direcția radială} \quad \vec{e}_r: -F_T1 - F_T2 = m \cdot \vec{a}_r = m \cdot (\ddot{r} - r \cdot \dot{\varphi}^2) \quad (4.24)$$

$$\text{Pe direcția tangențială} \quad \vec{e}_\varphi: F = m \cdot \vec{a}_\varphi = m \cdot (r \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi}) \quad (4.25)$$

Ecuațiile (4.23) și (4.25) sunt rezolvate ca ecuații diferențiale

$$\ddot{r} + 2 \cdot \mu \cdot \dot{r} \cdot \omega - \dot{r} \cdot \omega^2 = -(\mu \cdot g + \mu^2 \cdot g) \quad (4.26)$$

Ecuația diferențială (4.26) este rezolvată pentru partea omogenă (coeficienții λ_1 și λ_2) și partea neomogenă (D) [104]:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -\mu \cdot \vec{\omega} + \vec{\omega} \cdot \sqrt{\mu^2 + 1} \\ \lambda_2 &= -\mu \cdot \vec{\omega} - \vec{\omega} \cdot \sqrt{\mu^2 + 1} \\ D &= \frac{\mu \cdot \vec{g} + \mu^2 \cdot \vec{g}}{\vec{\omega}^2} \end{aligned}$$

Unde $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ este accelerația gravitațională.

$$\vec{r}(t) = \frac{(r_0 - D) \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{\lambda_1 t} + \frac{r_0 - D}{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \cdot e^{\lambda_2 t} + D \quad (4.27)$$

$$\vec{r}(t) = \vec{v}_r = \lambda_1 \frac{(r_0 - D) \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{\lambda_1 t} + \lambda_2 \frac{r_0 - D}{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \cdot e^{\lambda_2 t} \cdot t \quad (4.28)$$

Relația (4.28) arată variația vitezei particulei de îngrășământ în direcția mișcării de-a lungul paletei discului.

Mai există și viteza tangențială $\vec{v}_t$ care depinde doar de raza r și de viteza unghiulară ω . Viteza rezultantă v este [104]:

$$\vec{v} = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} \quad (4.29)$$

Poziția punctului unde particula atinge solul este [104]:

$$L_t = v \cdot \cos(\alpha) \cdot t^2 \quad (4.30)$$

$$h_t = v \cdot \sin(\alpha) - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (4.31)$$

unde L_t este distanța parcursă de particulă;
 α - unghiul dintre sol și direcția aruncării
 h_t - înălțimea maximă a particulei în zbor;

t – timpul petrecut de particulă în zbor.

În aceste condiții se ajunge la ecuațiile următoare [104]:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (4.32)$$

$$L_x = t \cdot v_x \quad (4.33)$$

Simulările numerice efectuate trebuie să țină cont de condițiile la limită și anume raza rotorului (r), turația rotorul (n), distanța de la rotor la sol (h), precum și coeficientul de frecare între gunoiului de grajd și suprafața pe care alunecă (μ). Rezultatele simulărilor numerice sunt prezentate în figurile 4.9 și 4.10.

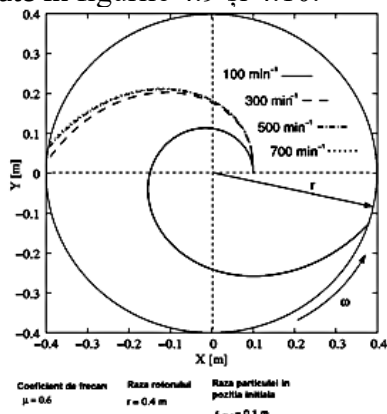


Fig.4.9. Mișcarea particulei pentru diferite frecvențe de rotație ale rotorului [104]

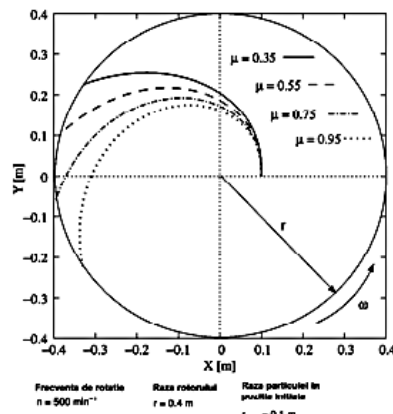
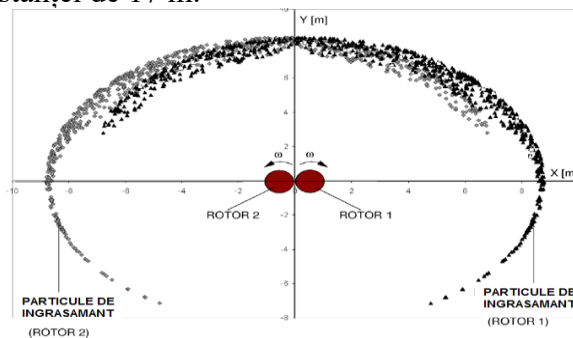


Fig.4.10. Mișcarea particulei pentru diferiți coeficienți de frecare [104]

Simulările numerice realizate pentru un număr de 2000 de particule sunt prezentate în figura 4.13. Privit de sus, distribuția este realizată după un arc de cerc mărimea acestuia depinzând de viteza cu care particula se desprinde de rotor. Figura arata o distribuție relativ uniformă de-a lungul distanței de 17 m.



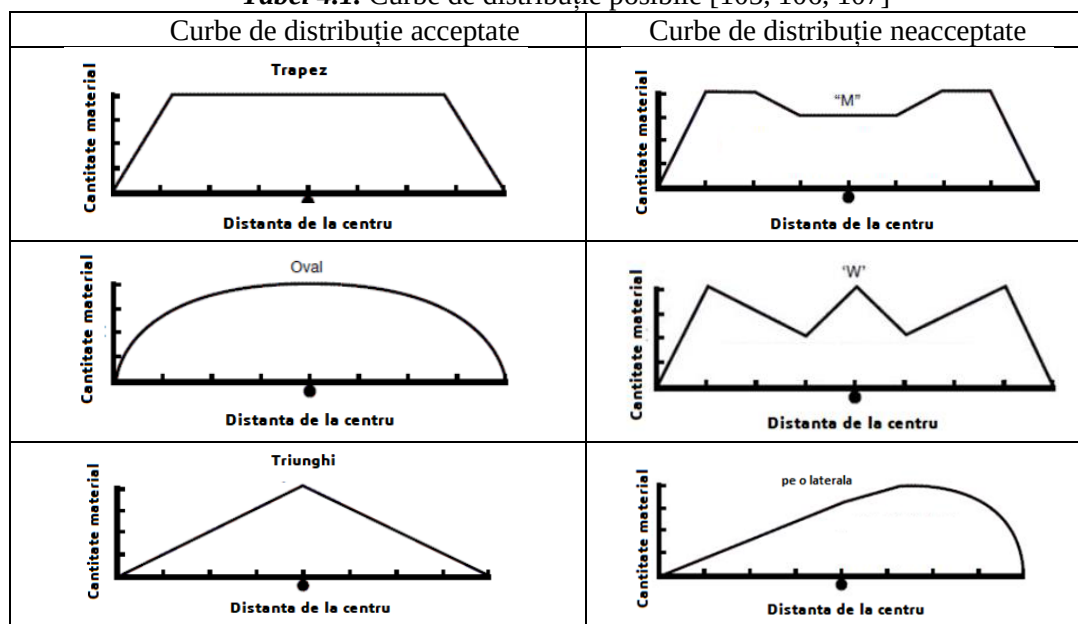
Frecvența de rotație	Coeficientul de frecare	Raza rotorului	Raza poziției inițiale a particulei	Distanța fata de sol
$n = 500 \text{ min}^{-1}$	$\mu = 0.6$	$r = 0.4 \text{ m}$	$r_{\text{initial}} = 0.1 \text{ m}$	$h = 0.6 \text{ m}$

Fig.4.13. Distribuția particulelor de îngrășământ [104]

4.5. Curbele de distribuție ale îngrășământului

At a single pass the accepted distribution curves are trapezoidal, oval / Gaussian or triangular (Table 4.1). They have a symmetrical shape to the center allowing subsequent overlaps that would reach a degree of uniformity of 100%.

Tabel 4.1. Curbe de distribuție posibile [105, 106, 107]



The overlapping scheme of three successive paths to obtain the actual working width (orange line fig. 4.14) is used to evaluate the uniformity of distribution and the actual working width for the fertilization work. Current standards provide an accepted degree of uniformity if this is over 75% [20].

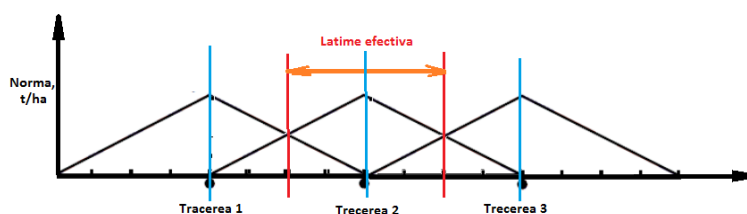


Fig.4.14. Reprezentarea grafică a suprapunerilor a trei parcursuri ale mașinii [105]

În tabelul 4.2 sunt prezentate numărul formelor curbelor obținute în 41 de configurații sau reglaje mașina-material posibile la distribuirea compostului și gunoierului de grajd de autorii lucrării [108].

Tabel.4.2. Profile ale curbelor de distribuție [108]

	Profil triunghi	Profil trapez	Profil „M”
Distribuitoare cu rotoare verticale	11	9	8
Distribuitoare cu discuri cu palete	0	10	3

4.6. Cercetări experimentale ale mașinii de distribuit îngrășăminte organice solide MIG - 5

Experimentările mașinii MIG 5, cu un singur rotor de distribuție a îngrășămintelor s-au realizat în scopul determinării următorilor indici: debitul mașinii, uniformitatea de distribuție, mărunțirea gunoierului de grajd, abaterea maximă de la cantitatea medie distribuită, lățimea de lucru efectivă, normele de îngrășământ posibile de administrat; indicii energetici. Mașina are o lățime a rotorului de distribuție de 1800 mm iar turația 285 rot/min.

Dintre rezultatele obținute în urmă experimentărilor amintim:

- *Debitul* mașinii a avut valori între 236 și 2466 kg/min
- *Uniformitatea de distribuție* transversală a avut valori între 77,7% și 84,1% iar uniformitatea pe direcția de înaintare a mașinii între 78,9 și 89,6%;
- *Gradul de mărunțire* a avut valori între 60,8 și 67,5%;
- *Lățime de distribuție* totală a fost de 4 m dintre care 3,25 m au avut o distribuție uniformă;
- *Normele* realizate de gunoi de grajd fermentat posibile de distribuit variază între 14,4 t/ha și 176,4 t/ha, iar de gunoi proaspăt între 5 și 45,7 t/ha.

4.7. Cercetări experimentale ale mașinii de distribuit îngrășăminte organice solide MIG - 12

Cercetările experimentale realizate cu mașina de distribuit gunoi de grajd **MIG-12** cu aparat de distribuție cu 4 rotoare dispuse vertical s-au efectuat în vederea determinării, caracteristicilor funcționale, indicilor calitativi de lucru și indicilor energetici. Mașina de tip semipurtat cu o capacitate de 12 t, având o lungime de 7370 mm, o lățime de 2420 mm și o înălțime de 3165 mm [111].

Lățimea de lucru efectivă la distribuirea gunoiului fermentat a avut valori între 7 și 9 m (media fiind de 7,88 m), iar la distribuirea gunoiului nefermentat lățimea efectivă a avut valori cuprinse între 7 și 8 m (media fiind 7,63 m).

Lățimea de lucru totală a avut în medie valoarea 13,2 m.

Mărunțirea gunoiului de grajd care depinde de gradul de fermentare al gunoiului, de debitul mașinii și de tipul organelor active de împrăștiere, a avut valori cuprinse între 82,7% și 89,3 % la distribuția gunoiului fermentat și 79,7% - 88,3% la distribuția gunoiului nefermentat.

Uniformitatea de distribuție pe lățimea de lucru realizată de mașina MIG 12 la încercările de câmp laborator, a avut valori cuprinse între 70 și 76,7 % la împrăștierea gunoiului fermentat și 70,1...78,6 % la împrăștierea gunoiului nefermentat.

Valorile medii ale cantităților de gunoi de grajd fermentat și nefermentat ce se poate distribui la hectar cu mașina MIG 12 sunt cuprinse între 0.7 t/ha și 254 t/ha.

4.8. Concluzii

Pentru sistemul de alimentare al aparatului de distribuție, s-a constatat în urma analizei efectuate, că se utilizează, în marea majoritate a soluțiilor constructive aplicate, transportorul cu raclete, cu un domeniu de variație a vitezei de transport între 1,5 – 50 mm/s.

Pentru aparatul de distribuție cu rotor cu spira elicoidală dispus în plan vertical a fost studiată mișcarea particulelor de îngrășămintă pe suprafața rotorului și în aer, până la aterizarea pe sol.

Curbele de distribuție transversală a îngrășământului solid acceptate, la o singură trecere, sunt cele de forma trapezoidală, ovală /Gaussiană sau triunghiulară.

Referitor la lățimea distribuției transversale, autorii cercetărilor au ajuns la următoarele concluzii:

- la *echipamentele de distribuție cu rotoare verticale*, lățimea de distribuție are valori cuprinse între 5 și 12 m;
- la *echipamentele de distribuție cu discuri cu palete*, lățimea de distribuție are valori cuprinse între 10 și 18 m.

Din cercetările prezentate se remarcă ce parametri constructivi și funcționali influențează direct distribuția îngrășămintelor organice solide, și anume :

- parametri constructivi ai aparatului de distribuție: diametrul spirelor/paletelor, înălțimea rotorului, înclinare paletelor/rotorului, distanța de la sol la rotor;

- turația rotorului, care la soluțiile constructive prezentate trebuie să fie între 300 și 700 rot/min;
- proprietățile fizico – mecanice ale îngrășământului (coeficientul de frecare, umiditatea, densitatea, etc.);
- debitul de îngrășămintă distribuit;
- viteza de lucru a mașinii.

CAPITOLUL V

MODELAREA MATEMATICĂ A DISTRIBUȚIEI ÎNGRĂȘĂMINTELOR ORGANICE SOLIDE

5.1. Obiectivele programului de modelare

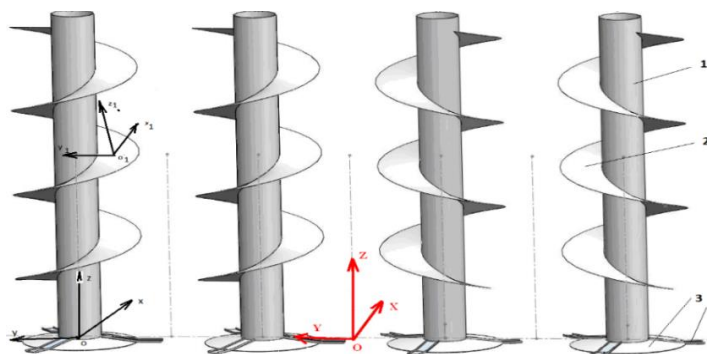
Obiectivele principale sunt:

- determinarea zonei unde are loc alimentarea pe spiră și locul de unde pot pleca particulele de îngrășământ;
- analiza mișcării particulelor materiale pe suprafața elicoidală. Se va determina timpul necesar desprinderii de pe spiră și coordonatele punctului de desprindere;
- analiza mișcării particulelor materiale după desprinderea de pe suprafața elicoidală și intersecția acestora cu solul;
- elaborarea programelor de calcul dinamic și de reprezentare grafică a traiectoriilor particulelor de material pentru determinarea zonei de distribuție pentru fiecare rotor;
- determinarea suprafețelor acoperite pe sol cu materialul distribuit de un rotor;
- determinarea cantității de material căzut pe sol pentru diferite debite de alimentare;
- determinarea debitelor și normelor teoretice realizate de mașină.

În modelul matematic realizat pentru studiul distribuției particulelor de îngrășământ, se consideră că particula de îngrășământ solid este un punct material.

5.2. Algoritmul programului de modelare

O particulă de material de pe suprafața rotorului se mișcă în conformitate cu legile dinamicii [124, 125]. Datorită forțelor exercitate asupra particulei ca rezultat al rotației rotorului are loc mișcarea particulei pe suprafața rotorului și apoi mișcarea în aer până la intersecția cu solul. Pentru simplificarea modelului s-a neglijat forța de frecare dintre particula și aer.



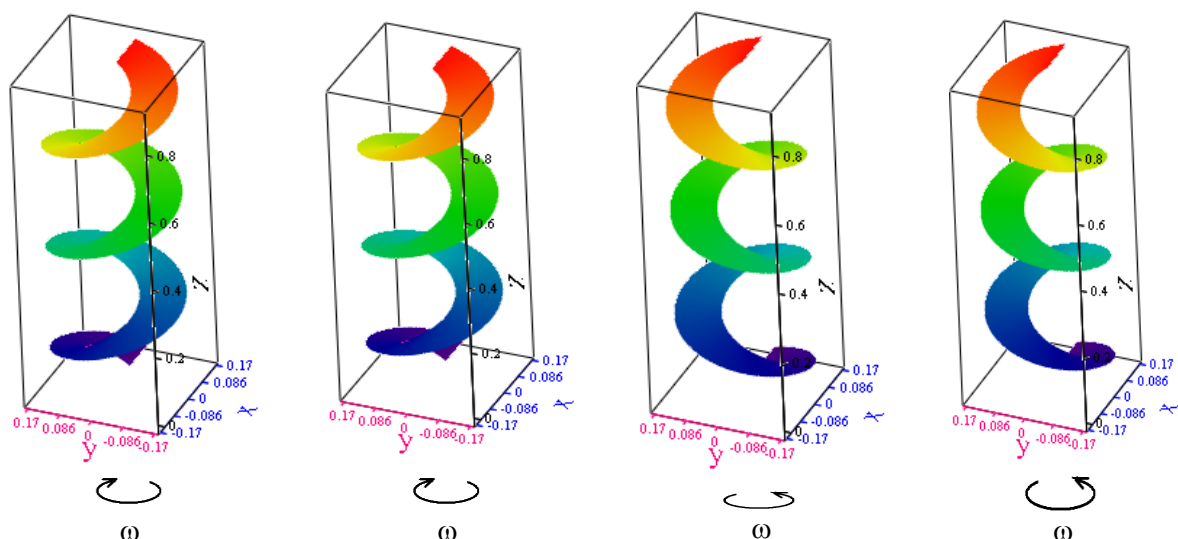


Fig.5.1. Aparat de distribuție cu patru rotoare verticale

a) reprezentarea aparatului de distribuție (vedere 3D Solid Works) 1. arbore; 2. spiră elicoidală; 3. disc; 4. paletă; b) generarea suprafețelor elicoidale ale aparatului de distribuție în programul MathCad [127]

Se considera sistemul de coordonate local al unei spire, $o_1x_1y_1z_1$ (fig. 5.1.a) și se scriu ecuațiile parametrice ale suprafeței elicoidale, cu pasul p_s , cu înfășurare stânga (semnul lui y este negativ), respectiv cu înfășurare dreapta (semnul lui y este pozitiv) [124, 125, 128]:

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = \pm r \sin \theta \\ z = K(r) + p\theta, p > 0, p \in R \end{cases} \quad (5.1)$$

unde r este— coordonata radială; θ — coordonata unghiulară; $p = \frac{p_s}{2\pi}$; p_s — pasul spirei elicoidale, $K(r)$ —funcția care dă forma coroanei elicoidale (deformația radială a suprafeței este zero pentru suprafața elicoidala clasică).

Considerăm un punct material M aflat pe suprafața elicoidală. Asupra lui acționează forță de frecare F_f , forța centrifugă F_c , forța de greutate G și forța normală N . Particula se deplasează pe suprafața elicoidală cu viteza v_t (fig.5.3).

După ce se face echilibru de forte

$$m\vec{a} = \vec{F}_c + \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_f \quad (5.3)$$

în care viteza este:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}} \quad (5.4)$$

iar accelerația este:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}} \quad (5.5)$$

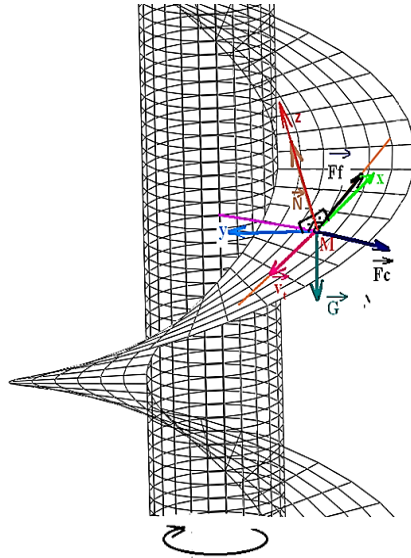


Fig.5.3. Forțele care acționează asupra particulei de material M, aflată pe suprafața elicoidală

Ecuțiile de mișcare pe direcția radială și unghiulară sunt:

rezultă:

$$\begin{cases} \ddot{r} = 2\dot{\theta}^2 r - \frac{\mu}{\sqrt{r^2 + p^2}} (gp - 2pr\dot{\theta}) - \frac{\dot{r}}{\sqrt{\dot{r}^2 + (r^2 + p^2)\dot{\theta}^2}} \\ \ddot{\theta} = -\frac{1}{\sqrt{r^2 + p^2}} (gp + \mu gr + 2\mu pr\dot{\theta}) \cdot \frac{\sqrt{r^2 + p^2}\dot{\theta}}{\sqrt{\dot{r}^2 + (r^2 + p^2)\dot{\theta}^2}} - \frac{2r\dot{r}\dot{\theta}}{\sqrt{r^2 + p^2}} \end{cases} \quad (5.30)$$

Condițiile inițiale sunt date prin raza r_0 și unghiul θ_0 :

$$\begin{aligned} x_0 &= r_0 \cdot \cos(\theta_0) \\ y_0 &= r_0 \cdot \sin(\theta_0) \\ \dot{r}_0 &= vt \cdot \cos(\theta_0) \\ \dot{\theta}_0 &= \omega + \frac{vt \cdot \sin(\theta_0)}{r_0} \end{aligned} \quad (5.31)$$

În coordonate carteziene vitezele sunt:

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= \dot{r}_0 \cos(\theta_0) - r_0 \cdot \dot{\theta}_0 \sin(\theta_0) \\ \dot{y}_0 &= \dot{r}_0 \sin(\theta_0) + r_0 \cdot \dot{\theta}_0 \cos(\theta_0) \end{aligned} \quad (5.32)$$

unde v_t =viteza cu care particula ajunge pe suprafața elicoidală (viteza transportorului cu raclete care alimentează aparatul de distribuție cu material aflat în bena)

Sistemul de ecuații (5.30) nu poate fi rezolvat analitic ci doar numeric, pe calculator, pentru că are derivatele secundare ale lui r și θ funcție de primele derivate și de ceilalți parametri ai sistemului.

Ecuțiile de mișcare ale particulei după părăsirea spirei elicoidale sunt [118, 125, 124]:

$$\begin{cases} x(t) = \dot{x}_0(t - t_0) + x_0 \\ y(t) = \dot{y}_0(t - t_0) + y_0 \\ z(t) = -\frac{g}{2}t^2 + (\dot{z}_0 + g \cdot t_0)t + z_0 - \dot{z}_0 t_0 - \frac{g}{2}t_0^2 \end{cases}$$

(5.33)

în care :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \dot{x}_0 \\ \dot{y}(t) = \dot{y}_0 \\ \dot{z}(t) = -g \cdot t + \dot{z}_0 + g t_0 \end{cases} \quad (5.34)$$

unde t este timpul particulei în zbor până la aterizarea pe sol ($h=0$, în cazul nostru $z=0$);
 t_0 – timpul după care particula părăsește rotorul din mișcarea pe suprafață elicoidală
 descrisă mai sus;

$\dot{x}_0$ - viteza inițială a particulei pe axa ox ;

$\dot{y}_0$ - viteza inițială a particulei pe axa oy ;

$\dot{z}_0$ - viteza inițială a particulei pe axa oz ;

z_0 - înălțimea de la care pleacă particula;

g - accelerația gravitațională.

Se va rezolva analitic ecuația 3 din primul sistemul de ecuații 5.33 și va rezulta timpul după care particula aterizează pe sol ($z=0$).

Vom nota coeficienții lui t în felul următor:

$$A = \frac{-g}{2}; B = \dot{z}_0 + g t_0; C = z_0 - \dot{z}_0 t_0 - \frac{g}{2} t_0^2$$

Rezulta soluțiile:

$$\begin{cases} t_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \\ t_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \end{cases} \quad (5.35)$$

Timpul de aterizare t este maximul dintre soluțiile t_1 și t_2 .

Pentru rezolvarea pe calculator prin metoda numerica Runge Kutta de ordinul 4, s-a folosit programul Mathcad, sistemul de ecuații diferențiale (5.30) sub forma explicită, adică explicitând derivatele secundare ale lui r și θ funcție de primele derivate și de ceilalți parametri ai sistemului [129, 130]. Ecuațiile (5.30) și (5.34) descriu mișcarea particulelor de îngrășămintă de la primul contact cu rotorul până când ajung pe suprafața solului

5.3. Studiul mișcării particulei de îngrășămintă în funcție de coeficientul de frecare

Pentru studiul mișcării particulei de îngrășămintă pe suprafața spirei elicoidale s-au considerat următoarele date inițiale: turația rotorului $n = 540$ rot/min; diametrul maxim al spirei elicoidale 0,345 m; diametrul minim al spirei elicoidale 0,115 m; pasul spirei elicoidale 0,3 m; lungimea rotorului 0,9 m; unghiul de inclinare al spirei, corespunzător diametrului maxim, 15° ; raza de plecare a particulei $r_0=0,115$ m și unghiul $\theta=270^\circ$; coeficientul de frecare cu suprafața metalică $\mu=0,8$; Înclinația rotorului față de axa verticală $\alpha=10^\circ$.

În fig.5.6 se reprezintă grafic mișcarea particulei pe suprafața elicoidală având ca punct de plecare $r_0=0,115$ m și $\theta=270^\circ$. Traectoria finală, pe spira elicoidală și în aer, este prezentată în fig. 5.13.

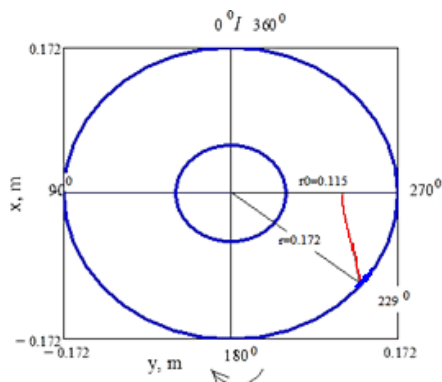


Fig. 5.6. Mișcarea particulelor pe suprafața elicoidală (vedere de sus)

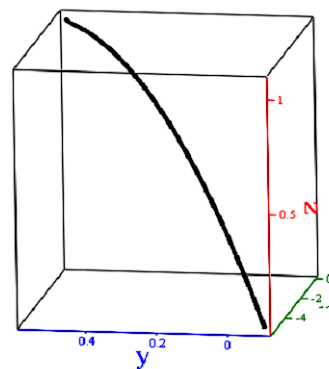


Fig. 5.13. Traiectoria particulei de îngrășământ

Se analizează mișcarea unei particule care pleacă de pe raza medie $r=0,115m$, $\theta=270^\circ$, turația $n=540$ rot/min și coeficienții de frecare $\mu=0,3; 0,5; 0,7; 0,9$ (Fig.5.15).

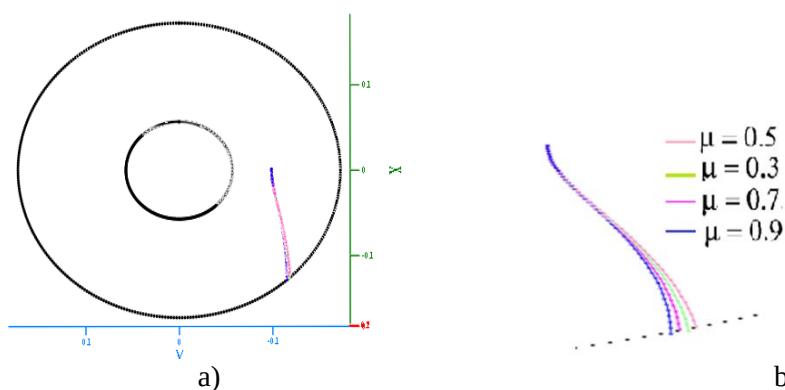


Fig.5.15. Studiul traiectoriei particulelor în funcție de coeficientul de frecare dintre particulă și rotor
a) mișcarea pe suprafața elicoidală ; b) mișcarea pe suprafața elicoidală –detaliu;

În tabelul 5.2 sunt prezentate coordonatele punctelor unde particula de îngrășământ intersectează solul.

Din datele obținute se remarcă faptul că timpul de părăsire al suprafeței elicoidale este extrem de apropiat, ceea ce denotă că nu este influențat de coeficientul de frecare, lucru constat și de autorii lucrării [104].

5.4. Studiul mișcării particulei de îngrășământ în funcție de turația rotorului

Se analizează mișcarea particulelor de îngrășământ sub acțiunea spirei elicoidale considerând trei turații ale rotorului și anume 100, 300 și 700 rot/min și trei poziții inițiale de plecare a particulelor anume $r_0=0,075m$, $r_1=0,114m$ și $r_2=0,162m$.

Traietoriile particulelor pe spira elicoidală sunt prezentate în fig.5.16. Se observă ca particulele care pleacă din același punct la o turație mai mică stau mai mult timp pe spira elicoidală fata de unele care sunt eliberate la o turație mai mare. Rezultatele obținute sunt în concordanța cu cele obținute de autorii lucrării [104].

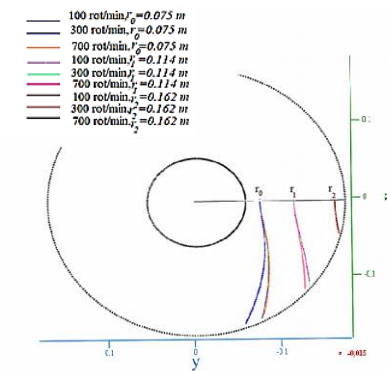


Fig.5.16. Traietoriile particulelor pe spira elicoidală

Au fost efectuate simulări pentru o serie de puncte semnificative 1-8 (Fig.5.19 a și b).

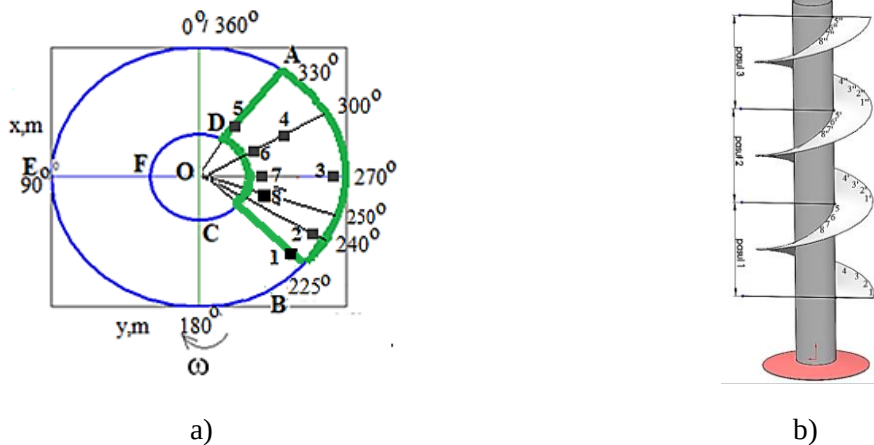


Fig.5.19. Punctele de plecare a particulelor de îngrășământ
a) vedere de sus b) vedere 3D

În fig.5.21 sunt prezentate suprafețele pe care sunt aruncate particulele de îngrășământ desprinse din prima treime a spirei elicoidale (zona 1) pentru toate cele trei turații considerate. Se constată că la turație mai mare avem, pe sol, suprafețe mai mari acoperite de material.

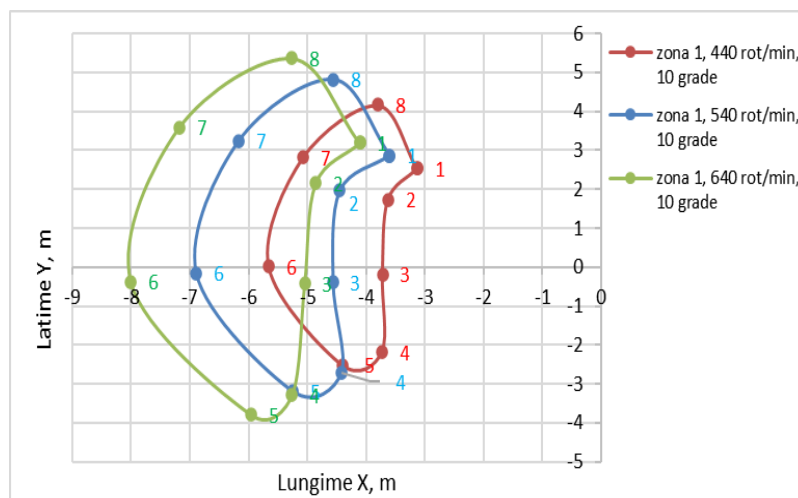


Fig.5.21. Suprafațele pe care sunt aruncate particulele de îngrășământ desprinse de pe spira elicoidală din zona 1 la turații diferite și unghiul de inclinare al rotorului de 10°

5.5. Studiul mișcării particulei de îngrășământ în funcție de unghiul de înclinare al rotorului

Din simulările numerice expuse în acest subcapitol a reieșit ca la înclinarea de 15° a rotorului se obține cea mai mare distanță de aruncare a particulelor, pentru ca această înclinare corespunde aruncării pe orizontală (având $\varnothing_{\max}=0.345$ m). Analizând rezultatele, se remarcă o lățime mai mare de distribuție ($L=11,2$ m) a îngrășămintelor la înclinarea $\alpha=15^\circ$ a rotorului comparativ cu cele obținute la 10° și 20° .

Suprafața pe care sunt aruncate particulele de îngrășământ, rezultată din analiza grafică, este de $59,5$ m², în cazul dispunerii rotorului înclinat la unghiul de 10° , de $71,89$ m² în cazul unui unghi de înclinare de 20° și are valoarea maximă de $86,28$ m² pentru unghiul de înclinare a rotorului de 15° .

5.6. Distribuția teoretică pe sol a îngrășământului solid

Pentru turația rotorului de 540 rot/min și unghiul de înclinare al acestuia de 15° , considerate optime din analiza anterioară, s-a determinat distribuția îngrășământului solid pe sol. Debitului specific de îngrășământ distribuit pe direcție transversală (perpendiculară pe direcția de înaintare a mașinii) este prezentat în figura 5.29.

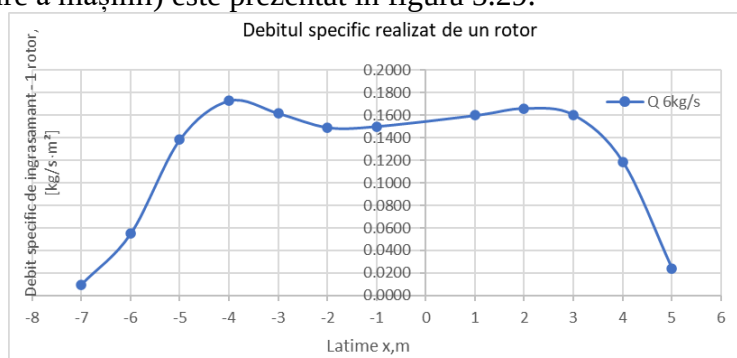


Fig.5.29. Curba distribuției transversale a debitului specific de îngrășământ. pentru un singur rotor la debitul $Q=6$ kg/s

Însumând 4 curbe de distribuție a debitului specific de îngrășământ, două fiind în oglinda celorlalte, s-a obținut distribuția teoretică realizată de mașina de administrat îngrășăminte organice solide cu 4 rotoare dispuse la distanță egală între ele, pentru debitul de 6 kg/s, turația rotoarelor de 540 rot/min și unghiul de înclinare a rotorului de 15° (fig.5.33).

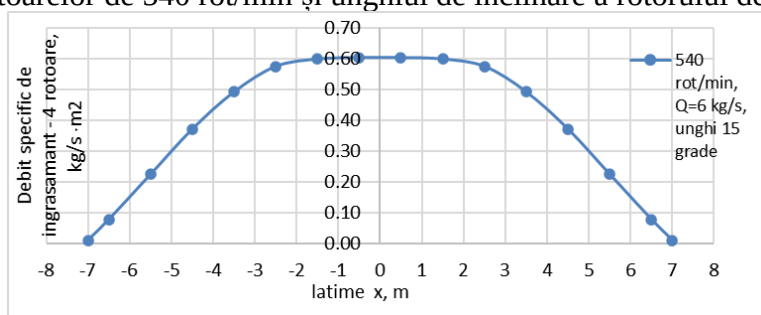


Fig.5.33. Distribuția transversală teoretică a debitului specific de îngrășământ realizat de cele 4 rotoare alăturate

S-a analizat și modul de efectuare a procesului de distribuție a îngrășământului solid, având în vedere următoarele ipoteze:

- se restrânge intervalul 1-8 eliminând punctele extreme (5 și 8) din figura 5.21;

- se presupune o concentrare mai mare de particule desprinse pe intervalul $250^\circ - 330^\circ$, ceea ce face ca pe centrul curbei să avem valori mai mari ale debitului specific de material distribuit. Cantitatea de îngrășămintă distribuită în zona extremă s-a redus cu 70-80% iar cantitatea din zona centrală a crescut cu 40-50 %.

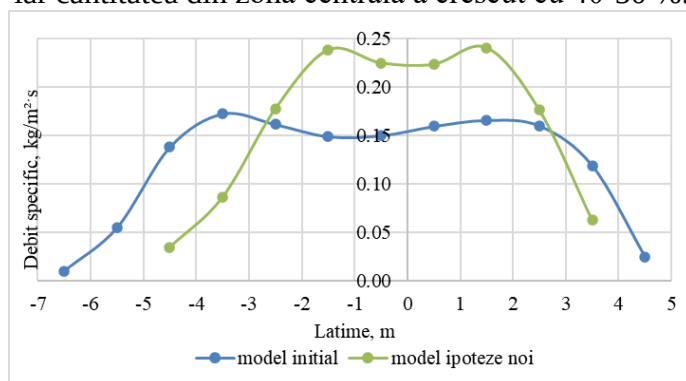


Fig.5.35. Curba distribuției transversale a debitului specific de îngrășămintă. pentru un singur rotor la debitul $Q=6$ kg/s comparativ cu cea obținută cu ipotezele noi

Se observă concentrarea mai mare de material distribuit în zona centrală, lucru care poate fi comparat cu distribuția măsurată după realizarea experimentărilor fizice ale rotorului simulat numeric în programul de modelare. Atunci se va putea observa care din cele două variante va fi mai adecvată.

S-a refăcut calculul pentru 4 rotoare alăturate dispuse la 0.5 m între ele (tabelul 5.17) și a rezultat următoarea variantă de distribuție prezentată în fig.5.36. Valorile debitelor specifice sunt aliniate față de axa mașinii (la jumătatea distanței dintre rotorul 2 și 3).

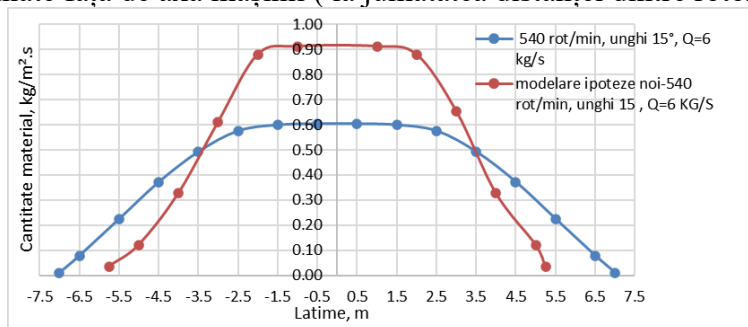


Fig.5.36. Debitul specific teoretic calculat în cele 2 variante teoretice

Lățimea maximă obținută în această variantă este cc. 11 m față de 13 m calculat anterior iar maximul valorii debitului specific este de $0,9 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$ față de $0,6 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$.

5.7. CONCLUZII

Din simulările numerice realizate utilizând programul de modelare prezentat s-au remarcat parametrii constructivi și funcționali care influențează direct distribuția îngrășămintelor organice pe sol, implicit calitatea lucrării de fertilizare:

- dimensiunile aparatului de distribuție (diametrul maxim și minim, pasul și numărul de spire elicoidale, distanța față de sol, lungimea rotorului);
- coeficientul de frecare dintre material și spira elicoidală;
- poziția inițială a materialului pe spirală dată de raza r_0 și unghiul θ ;
- turația rotorului;
- unghiul de înclinare al rotorului;
- debitul de lucru al mașinii.

Particulele de îngrășământ solid sunt aruncate la distanța cea mai mare la o înclinare a rotorului de 15° și anume la 9,59 m, iar cea mai mică este când unghiul de înclinare al rotorului este de 10° și anume 8,11 m. Având în vedere că o înclinare a rotorului de 15° corespunde aruncării pe orizontală a particulelor de îngrășământ ce părăsesc spira elicoidală la diametrul maxim al acesteia ($\varnothing_{\max}=0,345$ m) se recomandă ca înclinarea rotorului să se aleagă ca fiind 15° . La această înclinare se obține și lățimea maximă teoretică de distribuție de 13.1 m.

Suprafața pe care sunt aruncate particulele de îngrășământ crește de la 59,5 m² corespunzătoare înclinării rotorului cu unghiul de 10° la 71,89 m² pentru unghiul de 20° și are valoarea maximă de 86,28 m² pentru unghiul de înclinare a rotorului de 15° . Sunt suprafețe simplu, dublu și triplu acoperite astfel că în zona centrală va fi o cantitate maximă de particule de îngrășământ. Se obține o curbă de distribuție a îngrășământului pe sol simetrică cu valori minime la extremități și aproximativ constantă în zona centrală.

CAPITOLUL VI

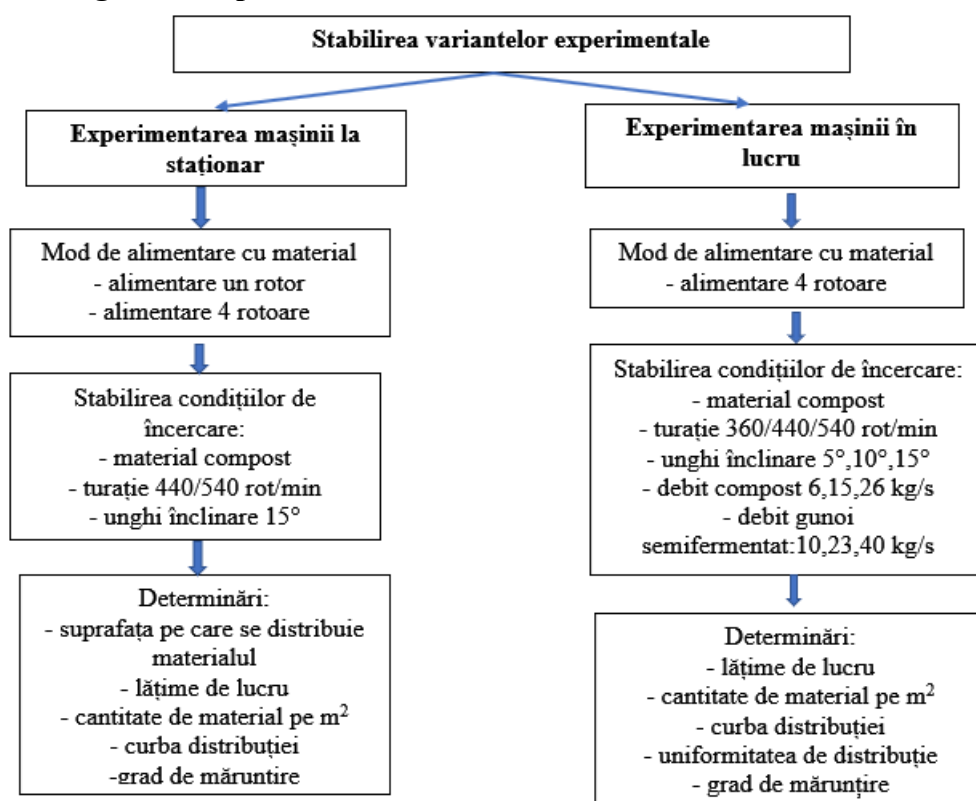
ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE ALE MAȘINII DE DISTRIBUIT ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANICE SOLIDE

6.1. Obiectivele cercetărilor experimentale

În cadrul cercetărilor experimentale s-au verificat ipotezele care au stat la baza studiilor teoretice efectuate de autoare și prezentate în capitolul precedent, referitoare la procesul de lucru al mașinii de distribuit îngrășămintă organice solide, permițând investigarea unor fenomene pentru care, în cadrul cercetărilor teoretice s-au făcut o serie de ipoteze simplificatoare datorită complexității fenomenelor luate în studiu.

Principalul obiectiv al cercetărilor experimentale l-a constituit determinarea influenței parametrilor constructivi și funcționali ai aparatului de distribuție cu spirală elicoidală asupra procesului de administrare a îngrășămintelor organice solide în vederea optimizării indicilor calitativi ai procesului.

6.2. Programul experimentărilor



6.3. Prezentarea echipamentului utilizat la încercări

Mașina de administrat îngrășăminte organice solide cu spiră elicoidală utilizată pentru realizarea cercetărilor experimentale (fig.6.2) este destinată fertilizării terenurilor șes cu pantă maximă de 6°, pentru culturile de cereale, plante tehnice, legume ș.a



Fig. 6.2. Mașina de administrat îngrășăminte organice

6.4. Încercări preliminare

S-a determinat **panta terenului** cu ajutorul unui clinometru, acesta având valoare de 1° iar pe terenul unde s-au desfășurat încercările în lucru panta terenului a fost de 2° care se încadrează în maximul de 6° prevăzut în standardul mai sus amintit.

Viteza vântului valoare medie de 1.62 m/s aceasta încadrându-se în recomandările standardelor în vigoare.

Densitatea îngrășămintelor organice :densitatea compostului folosit a fost $\rho = 510 \text{ kg/m}^3$ obținută ca medie a celor 5 probe de material luate din platforma de gunoi iar cea a gunoiului semi-fermentat a fost de 800 kg/m^3 .

Umiditatea obținută a fost de 72,33 % la compost și 81,73 % la gunoi semi-fermentat.

6.5. Încercarea experimentală la staționar a rotorului cu spiră elicoidală

În cadrul cercetărilor experimentale efectuate în prima fază, s-a urmărit evaluarea performanțelor de lucru ale unui aparat de distribuție care ipotetic are un singur rotor cu spiră elicoidală, ale cărui dimensiuni au fost optimizate pe baza modelării matematice.

Din datele obținute rezultă că viteza de deplasare a transportorului variază în mod continuu, de la 0.0028 m/s la gradația 1 a regulatorului de debit, la 0.0253m/s la gradația 10 a regulatorului de debit. Debitul de alimentare a fost între 1.53 și 6.38 kg/s pentru compost și între 2,4 și 10 kg/s pentru gunoiul semi-fermentat.

S-a testat rotorul pentru doua turații și anume 440 și 540 rot/min și s-au obținut debitele specifice în direcția transversală pentru timpul de 25 s cât a durat proba.

Tabel 6.7. Distribuția transversală a compostului realizata de rotorul distribuitor la turația $n_1 = 440 \text{ rot/min}$, debitul teoretic $q = 1.53 \text{ kg/s}$ și timpul 25 s

Debit specific de material, $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]$									Total
Lățime, [m]	-3,5	-2,5	-1,5	-0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	
Total $[\text{kg/m}^2]$	3,2380	4,4415	5,5270	7,1050	6,7380	6,3200	4,6955	1,6160	39,681
Debitul specific $[\text{kg/s m}^2]$	0,1295	0,1777	0,2211	0,2842	0,2695	0,2528	0,1878	0,0646	1,5872

Lăţimea de distribuţie realizată în aceste condiţii este de 8 m şi s-a constată că pe centrul suprafeţei se înregistrează valorile cele mai mari de material iar pe margini valorile sunt din ce în ce mai mici, pe măsură ce ne apropiem de extremităţi.

Tabel 6.9. Distribuţia transversală a compostului realizata de rotorul distribuitor la turaţia $n_1 = 540$ rot/min, debitul teoretic $q = 1,53$ kg/s şi timpul 25 s

Lăţimea, [m]	Debit specific de material, [kg/m ² ·s]									Total
	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	-0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	
Total [kg/m ²]	0,1851	1,5125	3,9375	5,7175	6,99	7,7	7,4661	4,8225	2,1765	40,5077
Debitul specific [kg/s m ²]	0,0074	0,0605	0,1575	0,2287	0,2796	0,308	0,2986	0,1929	0,087	1,6203

Cantitatea de material distribuită în cele 25 secunde a fost de 40,5077 kg ceea ce corespunde unui debit specific de 1,6203 kg/s m².

6.6. Încercarea la staţionar a maşinii de administrat îngrăşăminte organice solide

6.6.1. Determinarea variantei optime de amplasare a rotoarelor

În urma încercărilor experimentale ale rotorului s-a determinat distribuţia îngrăşământului pe sol şi ne-am propus să alegem varianta cea mai favorabilă de amplasare a celor 4 rotoare pentru obţinerea unei distribuţii optime. Având în vedere că lăţimea maşinii este de 2 m, au fost amplasate rotoarele la distanţa de 0,5 m între ele, în plan transversal (fig.6.16).

Se observă că pentru Varianta 1 se obţin cele mai bune valori pentru gradul de uniformitate calculat în două variante (41,65% pe toată lăţimea distribuită şi 73,85 pe lăţimea de lucru efectivă). Rezultă că varianta optimă de amplasare a rotoarelor este varianta 1, chiar dacă lăţimea de distribuţie totală rezultată este cea mai mică (9,5 m)

6.6.2. Încercarea la staţionar a maşinii de distribuit îngrăşăminte solide

Încercarea la staţionar a maşinii modificate, cu rotoarele distribuitoare montate în varianta 1 s-a făcut în următoarele condiţii de lucru: turaţie rotoare: $n = 540$ rot/min; unghi înclinare al rotoarelor: 15°; amplasarea rotoarelor: varianta 1; debitul de îngrăşăminte distribuit: $Q = 6$ kg/s; tipul materialului distribuit – compost; durata probei: $t = 25$ s. Rezultatele arată o lăţime de distribuţie de 12 m şi o concentrare a materialului pe zona centrală.

6.7. Încercarea experimentală în lucru a maşinii de administrat îngrăşăminte organice solide

6.7.1. Metodica încercărilor experimentale şi efectuarea experimentărilor în lucru

În timpul încercărilor experimentale au fost reglate următoarele mărimi:

- turaţia rotoarelor: 360, 440 şi 540 rot/min care corespund la 1500, 2000 respectiv 2200 rot/min turaţii ale motorului tractorului;
- debitul de alimentare pentru compost (cu masa volumică 510 kg/m³, umiditate 52%): 6, 15 şi 26 kg/s care corespund la trei viteze ale transportorului cu raclete şi anume 0,006, 0,0143 şi 0,025 m/s;

- pentru gunoi de grajd semifermentat s-a utilizat material cu masa volumică 800 kg/m^3 , umiditate 75% iar debitele de lucru la aceleași viteze ale transportorului au fost 10, 23 și 40 kg/s ;
- unghiul de înclinare în plan vertical al rotoarelor: 5° , 10° și 15° .

Datele experimentale, care conțin 631 de înregistrări, sunt prezentate în tabelele 6.18-6.23.

6.7.2. Determinarea experimentală a unor indici energetici ai mașinii

6.7.2.1. Determinarea forței de tracțiune

Din înregistrările efectuate la distribuirea gunoiului de grajd cu densitatea de 420 kg/m^3 , cu bena mașinii încărcată cu masa de 2560 kg , s-au înregistrat valori ale forței de tracțiune cuprinse între $520\ldots740 \text{ daN}$.

6.7.2.2. Forța de apăsare a proțapului mașinii pe dispozitivul de remorcare la tractor

În timpul lucrului, la efectuarea probelor de împrăștiere pe teren arat și discuit, la distribuirea gunoiului de grajd cu densitatea de 420 kg/m^3 , cu bena mașinii încărcată cu masa de 2560 kg , s-au înregistrat valori ale forței de apăsare pe dispozitivul de cuplare cuprinse între $85\ldots620 \text{ daN}$.

6.7.2.3. Momentul rezistent la acționarea rotoarelor

Valorile înregistrate arată că momentul rezistent la APP al tractorului la pornirea în gol a rotoarelor a avut valoarea medie de $57,98 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$ iar momentul maxim a avut valoarea medie de $M_{\max \text{ med}} = 119,19 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$, la prima probă înregistrându-se un maxim $M_{\max} = 144,9 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$ (Anexa 6.1, 6.2 și 6.3).

Momentul rezistent la arborele prizei de putere a tractorului în timpul lucrului, a avut valoarea medie de $19,27 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$.

6.7.2.4. Puterea necesară pentru tracțiunea mașinii

Puterea necesară pentru tractarea în lucru a mașinii, încărcată cu masa utilă de 5 tone , la deplasarea la viteza de $8,70 \text{ km/h}$, corespunzătoare, treptei a 3-a rapidă, la deplasarea pe miriște are valori cuprinse $10,42$ și $14,31 \text{ kW}$ iar în cazul când mașina lucrează pe arătură, este necesară o putere de tracțiune între 19 și $27,02 \text{ kW}$.

6.7.2.5. Puterea necesară pentru acționarea rotoarelor distribuitoare

Puterea necesară pentru acționarea a rotoarelor mașinii, la distribuția gunoiului de grajd cu densitatea de 420 kg/m^3 , a avut valori cuprinse între $5,25\ldots32,22 \text{ kW}$ ($7,13\ldots43,78 \text{ CP}$), pentru valorile de deplasare ale transportorului, $v_{\text{transportor}} = 0,14\ldots0,86 \text{ m/min}$.

6.8. CONCLUZII

Cercetările experimentale la staționar, ale procesului de lucru efectuat cu aparatul de distribuție cu rotorul distribuitor înclinat cu 15° în plan vertical, cu dimensiunile optime obținute în urma modelării teoretice a procesului de lucru, s-au efectuat în următoarele condiții:

- îngrășământul distribuit, compost;
- debitul teoretic de alimentare al rotorului distribuitor, $q = 1,53 \text{ kg/s}$;
- turația rotorului distribuitor, $n_1 = 440 \text{ rot/min}$ și $n_2 = 540 \text{ rot/min}$.

La cercetările experimentale efectuate la staționar, la o turație a rotorului distribuitor $n_1 = 440 \text{ rot/min}$, rezultatele au fost:

- cantitatea de material distribuită în 25 secunde a fost de $39,68 \text{ kg}$, ceea ce corespunde unui debit specific de $1,5872 \text{ kg/s m}^2$;

- Lățimea de distribuție realizată a fost de 8 m, cantitatea cea mai mare de material fiind în centrul suprafeței și scăzând spre extremități.

Cercetările experimentale efectuate cu turația rotoarelor distribuitoare, $n_2 = 540$ rot/min au condus la obținerea următoarelor rezultate:

- cantitatea de material distribuită în 25 secunde a fost de 44,48 kg, ceea ce corespunde unui debit specific de $1,6203 \text{ kg/s m}^2$.
- lățimea de distribuție realizată a fost de 9 m, cantitatea cea mai mare de material fiind în centrul suprafeței iar spre extremități aceasta scade.

CAPITOLUL VII

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Prelucrarea datelor experimentale s-a făcut în vederea obținerii funcțiilor de regresie multivariabile de forma politropică și polinomială care să permită aproximarea indicilor funcționali, energetici și/sau calitativi ai mașinii de administrat îngrășăminte organice solide.

7.1. Prelucrarea datelor experimentale obținute la încercarea la staționar a rotorului distribuitor

Datele experimentale prezentate în tabelele 7.1 și 7.2 au fost utilizate pentru trasarea curbelor de variație ale debitului specific de compost, distribuit atât pe direcția transversală (fig.7.3) cât și pe direcția longitudinală (fig.7.4), pentru cele două turații ale rotorului distribuitor (440 și 540 rot/min).

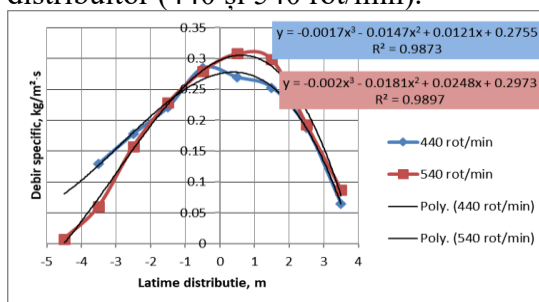


Fig. 7.3. Variația debitului specific de material distribuit de rotor pe direcția transversală

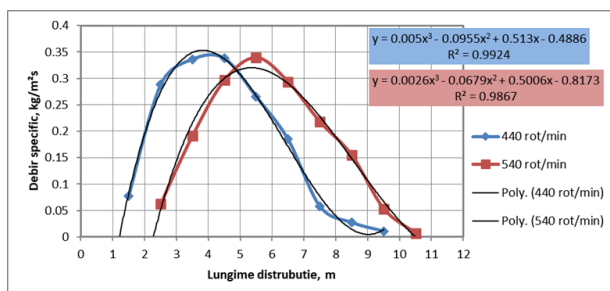


Fig. 7.4. Variația debitului specific de material distribuit de rotor pe direcția longitudinală

Din fig.7.3 se constată că lățimea suprafeței pe care este distribuit compostul crește de la 8 m, pentru turația rotorului distribuitor de 440 rot/min, la 9 m, când turația este de 540 rot/min.

Din fig.7.4 se constată că lungimea suprafeței pe care este distribuit compostul este de 9 m, observându-se că la turația de 540 rot/min compostul este aruncat mai departe de rotorul distribuitor. Se constată că suprafața pe care este aruncat compostul crește cu creșterea turației rotorului distribuitor.

Debitul specific de material în plan transversal în funcție de turația rotorului (n) și distanța de aruncare în plan transversal (d_t) se poate calcula cu relația 7.5 [141]. Reprezentarea grafică a acestei funcții este conform figurii 7.5. Pătratul coeficientului de corelație de $R^2=0.973$.

$$f(n, d_t) = -1,204 \times 10^{-14} + 1,1076 \times 10^{-3} \cdot n - 0,034 \times d_t - 1,016 \times 10^{-6} \times n^2 + 6,845 \times 10^{-5} \times n \times d_t - 0,015 \times d_t^2 \quad (7.5)$$

Debitul specific de material în plan longitudinal în funcție de turație (n) și distanța de aruncare în plan longitudinal (d_l) se poate calcula cu relația 7.6. Reprezentarea grafică a acestei funcții este în figura 7.6. Pătratul coeficientului de corelație de $R^2=0,912$.

$$f(n, d_l) = -2,18 \times 10^{-14} + 1,766 \times 10^{-3} \cdot n - 0,049 \times d_l - 4,113 \times 10^{-6} \times n^2 + 4,225 \times 10^{-4} \times n \times d_l - 0,015 \times d_l^2 \quad (7.6)$$

După prelucrarea datelor experimentale, s-a făcut comparația dintre datele obținute experimental la încercarea rotorului și datele teoretice obținute în programul de modelare matematică, prezentate în capitolul 5, pentru distribuția în plan transversal..

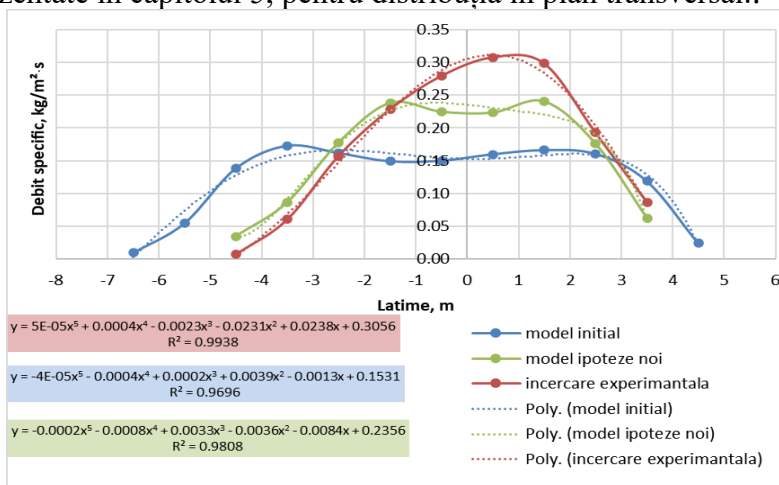


Fig.7.7. Date experimentale versus model matematic, distribuție transversală

Din compararea curbelor obținute se confirmă ipotezele făcute la modelarea procesului de lucru referitoare la concentrarea mai mare de particule desprinse din intervalul $250^\circ - 330^\circ$ observându-se pe grafice o cantitate de îngrășămintă distribuită în zona extremă redusă cu 70-80% și o creștere a cantității de îngrășămintă distribuită în zona centrală.

7.2. Prelucrarea datelor experimentale obținute la încercarea la staționar a mașinii de administrat îngrășămintă solide

Datele obținute la încercarea la staționar a mașinii de administrat îngrășămintă organice solide, privind debitul de îngrășămintă distribuit, au fost raportate la unitatea de timp, rezultând un debit specific consemnat în tabelul 7.3 și reprezentat grafic în fig.7.8.

Se observă că valorile cele mai mari sunt înregistrate în centrul suprafeței (valoarea maximă aproximativ $0,343 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$), în plan transversal avem o distribuție pe 12 m iar în plan longitudinal pe 11 m.

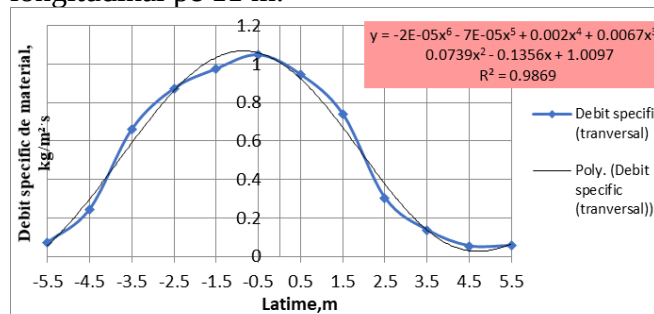


Fig. 7.9. Variația debitului specific de material distribuit de mașină pe direcția transversală

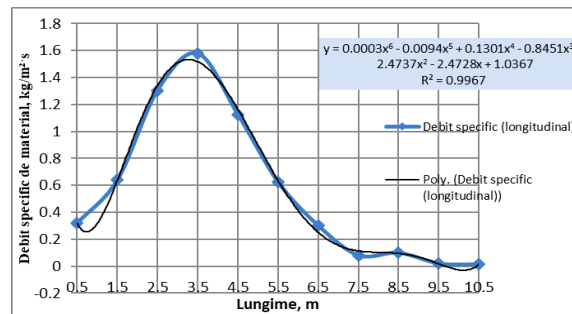


Fig. 7.10. Variația debitului specific de material distribuit de mașină pe direcția longitudinală, la staționar

Cu datele obținute s-a verificat dacă distribuția teoretică realizată prin însumarea datelor a 4 rotoare (varianta 1 de amplasare a rotoarelor din capitolul VI), pentru care s-au făcut determinări experimentale cu un singur rotor, este în concordanță cu distribuția experimentală realizată de mașină.

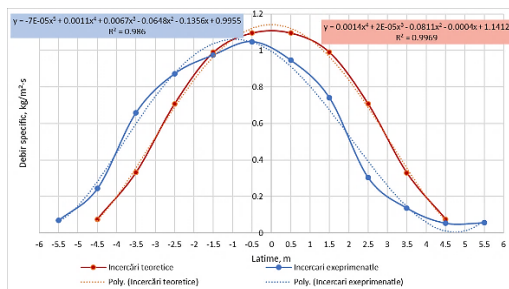


Fig.7.11. Comparare distribuția realizată în plan transversal pentru $n=540$ rot/min; debit teoretic $q=6$ kg/s, încercări teoretice-încercări experimentale

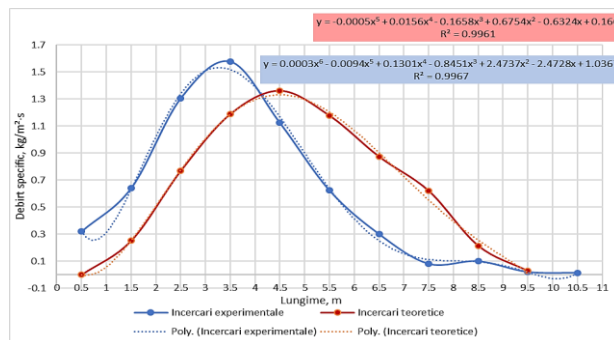


Fig.7.12. Comparare distribuția realizată în plan longitudinal pentru $n=540$ rot/min; debit teoretic $q=6$ kg/s, încercări teoretice-încercări experimentale

Din grafice se observă că distribuția teoretică calculată, aproximează distribuția reală obținută la experimentarea mașinii.

Se poate concluziona că, testând doar un singur rotor, se poate optimiza proiectarea aparatului de distribuție, astfel încât să se poată obține cele mai bune rezultate privind calitatea lucrării de fertilizare.

7.3. Prelucrarea datelor experimentale obținute la încercarea în lucru a mașinii de administrat îngrășăminte solide

7.3.1. Determinarea calității granulometrice a materialului administrat

Determinarea gradului de mărunțire se efectuează prin cântărirea particulelor având dimensiuni mai mici de 6 mm și raportarea greutății lor la greutatea totală a probei.

Mărunțirea materialului se realizează corespunzător dacă se obțin valori de peste 75 % pentru gradul de mărunțire. Au fost analizate probe (fig. 7.14) și din punct de vedere al distribuției granulometrice, materialul fiind trecut prin site cu dimensiunile orificiilor de 60,40,20,10 și 5 mm rezultatele fiind prezentate în tabelul 7.7 și reprezentate grafic în fig.7.15.

Tabelul 7.7. Compoziția granulometrică a materialelor testate la o turație a rotoarelor distribuitoare $n= 540$ rot/min

Material	Masa totală a probei, [kg]	Compoziția granulometrică a fiecărei fracții [kg]					
		>60 mm	40--60 mm	20-40 mm	10-20 mm	5-10 mm	<5 mm
Gunoii de grajd semifermentat	3,45	0,250	0,300	0,446	0,954	0,492	1,008
Compost	4,82	0	0,245	0,520	0,745	1,360	1,950

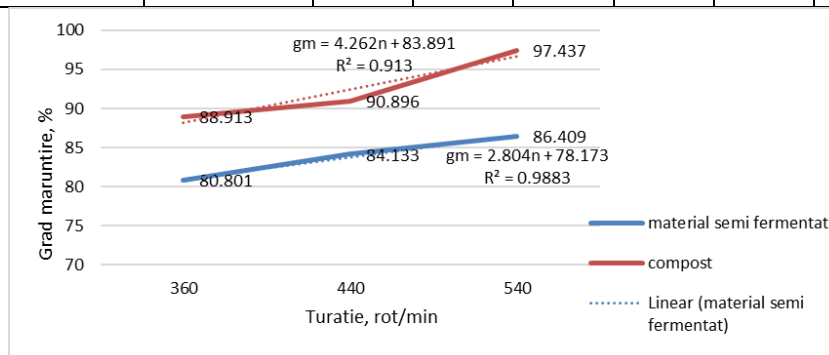


Fig.7.15. Dependenta gradului de mărunțire de turația aparatului de distribuție

Daca se notează g_m , gradul de mărunțire a materialului, iar cu n , turația aparatului de distribuție, atunci ecuațiile dependențelor liniare se scriu astfel:

$$g_m(n) = 2,804n + 78,173 \quad (7.11)$$

pentru gunoi fermentat,

$$g_m(n) = 4,262n + 83.891 \quad (7.12)$$

pentru compost.

7.3.2. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru indicii calitativi de lucru

7.3.2.1. Algoritmul de calculul al coeficienților funcțiilor multivariabile

Prelucrarea datelor experimentale a avut ca scop obținerea unor funcții de regresie multivariabile care au formă politropică și/sau polinomială cu ajutorul cărora să se poată aprecia indicii funcționali, energetici și calitativi ai mașinii de administrat îngrășăminte organice solide.

Forma funcțiilor multivariabile are următoarea formă:

$$y = f(x_i, a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij}) \quad (7.13)$$

care exprimă dependența funcției y de variabilele independente x_i și de constantele a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} .

Funcția de regresie de forma polinomială, cu trei variabile independente, este de forma [147]:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^3 a_{ii} \cdot x_i^2 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 \quad (7.15)$$

unde x_1, x_2, x_3 sunt variabilele independente, y este variabila dependentă iar $a_0, a_i, a_{ii}, a_{12}, a_{13}$ și a_{23} sunt constantele a căror valoare urmează să fie determinată.

Funcția de regresie de formă politropică, având trei variabile independente, are forma [147]:

$$y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot x_3^{a_3} \quad (7.22)$$

unde x_1, x_2, x_3 sunt variabilele independente, iar y este variabila dependentă.

7.3.2.2. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru gradul uniformității de distribuție a compostului

Pentru determinarea gradului de uniformitate a distribuției compostului a fost necesară calcularea în prealabil a lățimii de lucru considerată optimă pe care se va determina uniformitatea de distribuție. Pentru determinarea acestei lățimi efective de lucru s-a realizat un experiment cu treceri succesive. La distribuirea compostului (densitatea 510 kg/m³) la turația rotoarelor de $n=360$ rot/min, viteza mașinii $v_m=1$ m/s și debitul $q=26$ kg/s, s-a făcut un număr de trei treceri.

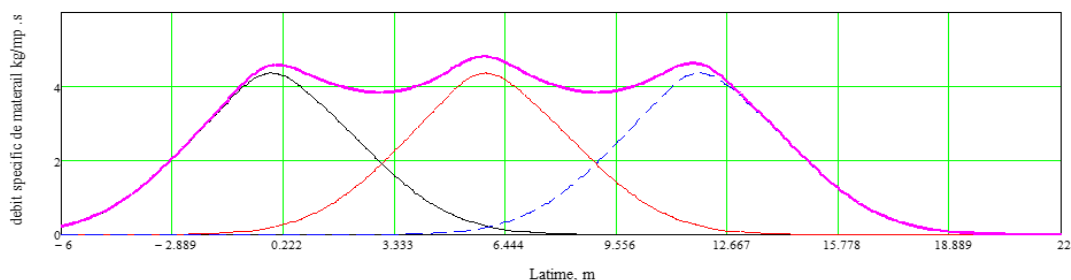


Fig. 7.19. Distribuția transversală a trei parcurhuri succesive pentru $Q=26 \text{ kg/s}$, $n=360 \text{ rot/min}$, densitate= 510 kg/m^3 , 6 m între treceri succesive

Tabelul 7.9. Gradul de uniformitate realizat pentru diferite distante între treceri.

Distanța între treceri, [m]	Valoarea medie a debitului specific, $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]$	Gradul de uniformitate, [%]
9	2.858	64.13
8	3.118	74.69
7	3.266	79.63
6	3.811	82.69

Se observă că pe măsură ce distanța între treceri scade, uniformitatea distribuției este mai bună.

Gradului de uniformitate a distribuției îngrășământului în funcție de lățimea de lucru se poate calcula cu relația:

$$G_{ud} = -1,875 \cdot l + 22,063 \cdot l + 17.625 \quad (7.31)$$

unde l este lățimea de lucru

Pentru determinarea coeficienților funcțiilor multivariabile necesari pentru a calcula gradul uniformitate a distribuție pentru compost, au fost alese trei variabilele independente care influențează variabila dependentă, precum și intervalul de variație al acestora:

- Turația rotoarelor: $n = 360; 440; 540 \text{ rot/min}$;
- Unghiul de înclinare a rotoarelor: $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$;
- Debitul de alimentare al rotoarelor: $Q = 6; 15; 26 \text{ kg/s}$;

Pentru fiecare variabilă independentă s-a ales un nivel minim, unul maxim și unul mediu.

Funcția politropică cu care se poate calcula gradul de uniformitate a distribuție este:

$$G_{ud} = 68,670694280 \cdot n^0 \cdot \alpha^{0.042717678} \cdot Q^{0.022190391} \quad (7.33)$$

unde G_{ud} este uniformitatea de distribuție [%];

n - turația rotoarelor 360-540 [rot/min];

α – unghiul de inclinare al rotoarelor 5-15 [°]

Q – debitul de alimentare a rotoarelor 6-26 [kg/s]

Se observă ca abaterea valorilor gradului de uniformitate a distribuției față de valorile experimentale este de maxim 6,563% ceea ce arată că forma funcției este destul de precisă.

În fig.7.22 este prezentat grafic gradul de uniformitate în funcție de unghiul de înclinare al rotoarelor distribuitoare și de debitul de compost distribuit.

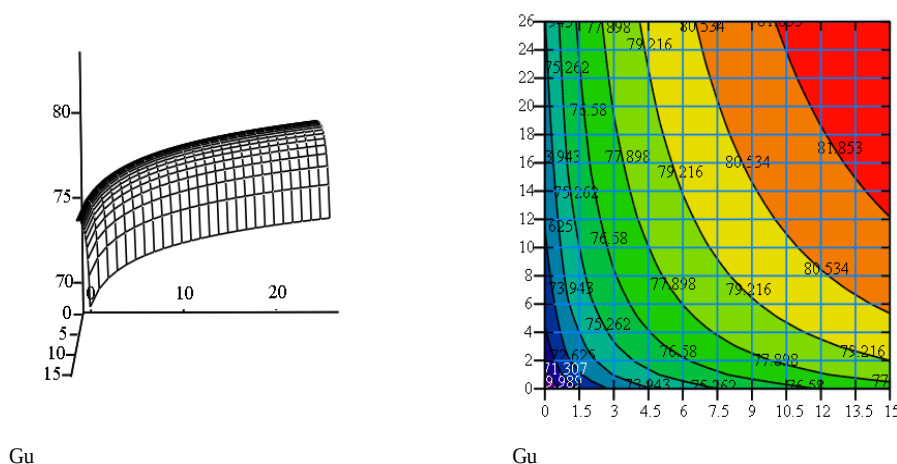


Fig.7.22. Reprezentarea grafică a gradului de uniformitate $G_u=f(\alpha, Q)$ la distribuirea compostului

Funcția de formă polinomială, pentru calculul gradului de uniformitate a distribuției compostului, este:

$$G_{ud} = 80,285 + 0,013 \cdot \alpha - 0,491 \cdot Q - 2,264 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha^2 + 0,023 \cdot \alpha \cdot Q + 0,013 \cdot Q^2 \quad (7.35)$$

Se recomandă ca înclinarea rotoarelor mașinii de distribuit îngrășăminte solide să fie de 15° pentru că asigură un grad al uniformității distribuției compostului maxim (80,219% - 82,972%).

7.3.2.3. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru gradul uniformității de distribuție pentru gunoi semi fermentat

Pentru determinarea coeficienților funcțiilor multivariabile la experimentarea gunoiului semi fermentat s-au considerat următoarele variabile independente care influențează variabila dependentă, dar și intervalul de variație a acestora:

- Turația rotoarelor: $n = 360; 440; 540$ rot/min;
 - Unghiul de înclinare al rotoarelor: $\alpha = 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ$;
 - Debitul de alimentare al rotoarelor: $Q = 10; 23; 40$ kg/s pentru gunoi semi fermentat;
- Funcția obținută este :

$$G_{ud} = 62,79787 \cdot n^0 \cdot \alpha^{0.05216} \cdot Q^{0.04832} \quad (7.42)$$

unde G_{ud} este gradul de uniformitate a distribuție [%];

n - turația rotoarelor 360-540 [rot/min];

α – unghiul de înclinare al rotoarelor 5-15 [°];

Q – debitul de alimentare al rotoarelor 10-40 [kg/s].

Se observă că abaterea valorilor calculate ale gradului de uniformitate a distribuției față de valorile experimentale este de maxim 4,294 % ceea ce arată că forma funcției este destul de precisă.

În fig.7.25 este prezentat grafic gradul de uniformitate la distribuția gunoiului semi fermentat în funcție de variabilele independente unghi de înclinare al rotoarelor și debit de lucru (Anexa 7.6).

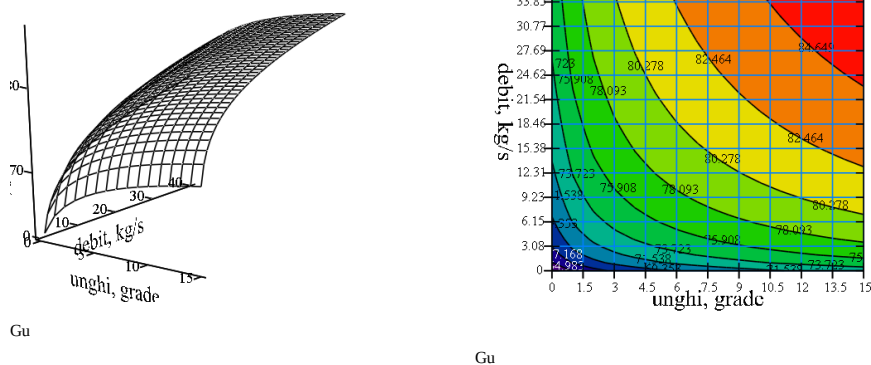


Fig.7.25. Reprezentarea grafică a gradului de uniformitate $G_{ud}=f(\alpha, Q)$ la distribuirea gunoiului semi fermentat (funcția politropică)

Funcția de formă polinomială pentru calculul gradului de uniformitate a distribuției gunoiului semi fermentat este:

$$G_{ud} = 82,037 - 0,304 \cdot \alpha - 0,041 \cdot Q + 0,042 \cdot \alpha^2 - 0,022 \cdot \alpha \cdot Q + 6,556 \cdot 10^{-3} Q^2 \quad (7.44)$$

Coeficientul multiplu de corelație este 0.715 ceea ce arată că funcția polinomială nu este suficient de precisă.

Se recomandă ca înclinarea rotoarelor mașinii de distribuit îngrășăminte solide să fie de 15° pentru că asigură un grad al uniformității distribuției al gunoiului semifermentat maxim (82,694% - 86,439%).

7.3.2.4. Determinarea funcțiilor multivariabile pentru norma de îngrășământ distribuită

Pentru determinarea coeficienților funcțiilor multivariabile pentru calculul normei de îngrășământ distribuit s-au considerat următoarele variabile independente și intervalul de variație al acestora:

- Debitul de alimentare al rotoarelor: $Q = 6; 23; 40 \text{ kg/s}$;
- Viteza de lucru: $v = 2; 6; 10 \text{ m/s}$;
- Lățimea de lucru: $L = 6; 7.5; 9 \text{ m}$.

Unghiul de înclinare al rotoarelor distribuitoare a fost de 15° iar turația $n = 540 \text{ rot/min}$.

Tabelul 7.18. Programul de încercări experimentale pentru determinarea normei de îngrășământ distribuit

Nr. crt.	Debit alimentare, $Q[\text{kg/s}]$	Viteza de lucru $[m/s]$	Lățimea $[m]$	Norma $[t/ha]$
1	6	2	6	18
2	40	2	6	120
3	6	10	6	3,6
4	40	10	6	24
5	6	2	9	12
6	40	2	9	80
7	6	10	9	2,4
8	40	10	9	16
9	6	6	7.5	4,8
10	40	6	7.5	32
11	23	10	7.5	11
12	23	2	7.5	55
13	23	6	7.5	15
14	23	6	7.5	23
15	23	6	7.5	18
16	23	6	7.5	20
17	23	6	7.5	19
18	23	6	7.5	17

Funcția politropică care permite calculul normei administrate este:

$$N = 36,7399 \cdot Q^{0,9996} \cdot v^{-1} \cdot L^{-1,01} \quad (7.51)$$

unde N este norma de îngrășământ la hectar $[t/ha]$;

Q - debitul de alimentare al rotoarelor (6 - 40 kg/s);

v - viteza de lucru (2 - 10 m/s);

L - lățimea de lucru (6 - 9 m).

Se observă că abaterea valorilor normei de îngrășământ distribuit calculat față de valorile experimentale este de maxim 8,126 % ceea ce arată că forma funcției este destul de precisă.

Pentru lățimile de lucru optime (tabel 7.14), pentru care gradul de uniformitate al distribuirii îngrășământului este maxim, funcția polinom care permite calculul normei administrate este:

$$N = 7,796 + 3,242 \cdot Q - 8,028 \cdot v - 3,156 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 - 0,0279 \cdot Q \cdot v + 0,753 \cdot v^2 \quad (7.52)$$

Coeficientul multiplu de corelație este $R^2=0,958$.

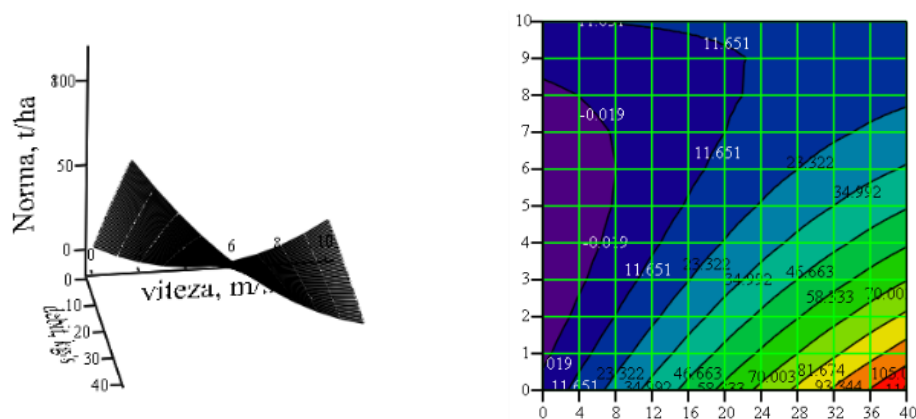


Fig.7.28. Reprezentarea grafică a normei de îngrășământ distribuit

Utilizând relația 7.52 și reprezentarea grafică din fig.7.28, pentru o normă impusă, se poate determina debitul de îngrășământ distribuit Q și viteza de lucru a mașinii, v .

În fig.7.29 este prezentată grafic variația debitului de alimentare Q în funcție de viteza transportorului cu raclete care alimentează cu îngrășământ rotoarele distribuitoare pentru cele doua tipuri de îngrășământ utilizat la încercările experimentale (Anexa 7.7).

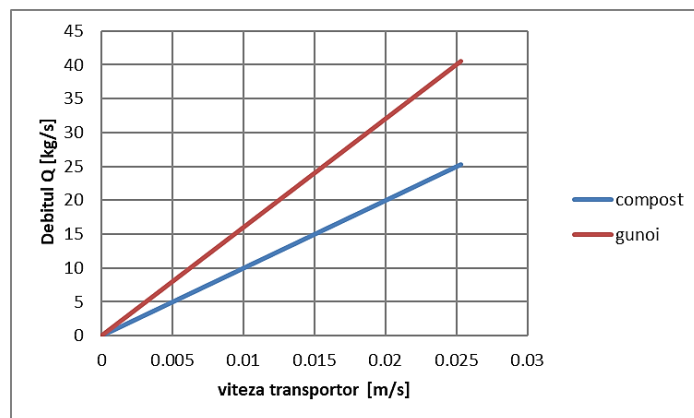


Fig.7.29. Variația debitului de alimentare în funcție de viteza transportorului cu raclete

Pentru un debit Q cunoscut se poate determina, din fig.7.29, viteza transportorului cu raclete în cazul distribuirii compostului sau a gunoiului semi fermentat.

7.4. Concluzii

Între distribuția transversală teoretică realizată cu programul de modelare și distribuția obținută la încercările experimentale, pentru turația $n=540$ rot/min și debitul $Q=6$ kg/s, este o mare asemănare ceea ce confirmă ipotezele făcute la modelarea procesului de lucru al rotoarelor distribuitoare.

La încercarea la staționar a mașinii de distribuit îngrășăminte solide, pentru turația $n=540$ rot/min și debitul $Q=6$ kg/s, debitului specific de îngrășământ distribuit pe direcția transversală are o lungime de 12 m și este simetrică iar îngrășământul distribuit pe direcția longitudinală are o lungime de 11m valoarea maxima fiind la distanța de aproximativ 3,5m de rotoarele distribuitoare.

Granulația compostului crește de la 88.913 % la turația de 360 rot/min la 97.437 % la turația de 550 rot/min iar granulația gunoiului semifermentat crește de la 80.801 la turația de 360 rot/min la 86.409 la turația de 550 rot/min.

Funcțiile multivariabile obținute pentru calculul gradului de uniformitate al distribuției și a normei impuse sunt destul de precise pentru ca valorile abaterilor dintre datele măsurate și cele calculate sunt foarte mici.

CAPITOLUL VIII

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII, PERSPECTIVE

8.1. Concluzii generale

- Îngrășămintele organice folosite în agricultură sunt: *gunoiul de grajd, compostul, nămolurile de la stațiile de epurare, gunoiul de păsări, biocharul, îngrășămintele verzi, resturile vegetale.*
- Performanțele echipamentelor de distribuit îngrășăminte organice sunt influențate de următoarele caracteristici fizico-mecanice ale îngrășămintelor: conținutul de materie uscată, densitatea, dimensiunile particulelor, caracteristicile de frecare și proprietățile de forfecare.
- În cadrul tezei de doctorat s-a realizat un **model matematic pentru studiul aparatului de distribuție cu spira elicoidală** dispus în plan înclinat, la diverse unghiuri, în vederea determinării parametrilor constructivi, funcționali și energetici, optimi din punct de vedere al realizării indicilor calitativi ai lucrării de fertilizare, conform cerințelor agrotehnice
- Din simulările numerice realizate cu programul de modelare prezentat, se remarcă parametrii constructivi și funcționali care influențează direct distribuția îngrășămintelor organice pe sol:
 - dimensiunile aparatului de distribuție (diametrul maxim și minim, pasul spirei elicoidale, distanța de la sol, lungimea rotorului);
 - coeficientul de frecare dintre material și spira elicoidală;
 - poziția de desprindere a materialului de pe spiră;
 - turația rotorului;
 - unghiul de înclinare al rotorului;
- **Cercetările experimentale la staționar ale rotorului distribuitor înclinat** cu 15° în plan vertical spre fața mașinii: turația rotorului distribuitor, $n=540$ rot/min, cantitatea de material distribuită în 25 secunde a fost de 40,51 kg, ceea ce corespunde unui debit specific de $1,6203 \text{ kg/s m}^2$. În acest caz, lățimea de distribuție realizată a fost de 9 m, cantitatea cea mai mare de material fiind în centrul suprafeței, scăzând spre extremități.
- În varianta 1 de amplasare a celor patru rotoare distribuitoare gradul de uniformitate al distribuției a fost maxim, aceasta fiind varianta recomandă.
- Între distribuția transversală teoretică, realizată cu programul de modelare, și distribuția obținută la cercetările experimentale, pentru turația $n=540$ rot/min și debitul $Q=6$ kg/s, s-a observat o mare asemănare, ceea ce confirmă ipotezele făcute la modelarea procesului de lucru al rotoarelor distribuitoare.

- La încercarea la staționar a mașinii de distribuit îngrășăminte organice solide, pentru turația $n=540$ rot/min și debitul $Q=6$ kg/s, se obține o lățime de lucru totală pe direcția transversală de 12 m și este simetrică, iar pe direcția longitudinală materialul este aruncat până la distanța de 1 m.
- Analizând distribuția teoretică realizată de mașina echipată cu 4 rotoare, pentru diferite viteze de lucru ale mașinii, s-a observat că măbind viteza de lucru, debitul specific de îngrășământ care ajunge pe sol scade.
- Se recomandă înclinarea rotoarelor distribuitoare ale mașinii de distribuit îngrășăminte la 15° , având în vedere că rezultatele cercetărilor au demonstrat un grad de uniformitate cuprins între 80,22...82,97%, la distribuirea compostului și 80,84...86,44%, la distribuirea gunoiului semi fermentat.
- Funcțiile multivariabile obținute pentru calculul gradului de uniformitate al distribuției și a normei impuse sunt destul de precise pentru ca valorile abaterilor dintre datele măsurate și cele calculate sunt foarte mici.
- Pentru distribuirea îngrășămintelor organice solide studiate se fac următoarele recomandări:
 - turația rotoarelor optimă este de 540 rot/min;
 - unghiul de înclinare al rotoarelor să fie 15° ;
 - debitele de lucru să fie între 6 și 40 kg/s.

8.2. Contribuții personale

Ca urmare a cercetărilor teoretice și experimentale realizate în prezenta lucrare, se desprind următoarele contribuții:

- Realizarea unei sinteze privind principalele tipuri de îngrășăminte organice utilizate în agricultură, evidențiindu-se proprietățile fizico-mecanice care influențează procesul de distribuire realizat cu echipamente specifice, prin studierea unei ample bibliografii de specialitate (articole științifice, documente oficiale, cărți etc).
- Realizarea unei sinteze privind principalele echipamente tehnice pentru distribuirea îngrășămintelor organice solide, identificând-se principalele caracteristici constructive și reglaje posibile care influențează procesul de distribuire a acestora;
- Realizarea unui model matematic și a unui program de modelare a procesului de lucru al rotorului distribuitor cu spiră elicoidală și a unor serii de simulări numerice prin care s-a permis determinarea influenței parametrilor constructivi și funcționali asupra indicilor calitativi de lucru;
- Stabilirea parametrilor constructivi și funcționali ai aparatului de distribuire, alcătuit din rotorul cu spiră elicoidală dispus înclinat în plan vertical, numărul rotoarelor, distanța între ele, astfel încât indicii calitativi ai procesului de lucru să fie optimi;
- Elaborarea metodicii necesare efectuării încercărilor experimentale privind distribuirea mai multor tipuri de îngrășămintelor organice solide;
- Determinarea proprietăților îngrășămintelor utilizate la experimentări și condițiile de lucru;
- Determinarea traiectoriilor particulelor de îngrășământ atât pe spira elicoidală a rotorului cât și în spațiu până la intersecția cu solul, în diferite condiții de lucru;
- Determinarea timpului de stagnare pe rotor, până la desprindere, dar și timpul până la aterizarea pe sol, a particulelor de material;
- Determinarea debitelor specifice de material ajunse pe sol la experimentarea în diverse condiții a organului de lucru (rotor cu spiră elicoidală), dar și a mașinii de distribuit îngrășăminte;
- Prelucrarea datelor experimentale și obținerea unor funcții de regresie multivariabile de formă polinomială și politropică care permit calculul gradului de uniformitate a

distribuției, a gradului de mărunțire a materialului și a normei posibile obținute cu echipamentul testat;

- În urma studiilor teoretice și experimentale au fost făcute o serie de recomandări pentru specialiștii din domeniul proiectării mașinilor de distribuit îngrășăminte organice solide;
- Cercetările teoretice și experimentale, efectuate în domeniul fertilizării cu îngrășăminte, au fost diseminate la scară largă prin elaborarea și publicarea unui număr de 19 lucrări științifice publicate în reviste de specialitate, dar și proceedings-urile unor conferințe naționale și internaționale, dar și prezentarea acestora în cadrul unor evenimente științifice naționale și internaționale, în calitate de autor și coautor.

8.3. Direcții viitoare de cercetare

- Cunoscând tendința actuală de trecere la Agricultura inteligentă, se propune dotarea mașinilor cu tehnologia de fertilizare cu aplicare variabilă, care asigură că pătrunderea îngrășămintelor se realizează exact în zonele în care este nevoie, amplificându-se astfel efectul lor.
- Modelul matematic propus în lucrare poate fi îmbunătățit prin considerarea unor elemente omise cum ar fi: influența frecării cu aerul, masa sau forma particulelor;
- O altă variantă de simulare a distribuirii materialului pe sol poate fi realizată în programe specifice de mecanica fluidelor CFD, materialul putând fi considerat fluid ușor (fără greutate), fluid ideal (fără vâscozitate), fluid incompresibil, la care volumul unei mase determinante este constant sau fluid real (compresibil și vâscos).
- Optimizarea procesului de distribuție a îngrășămintelor organice și obținerea unei uniformități maxime, utilizând relațiile matematice și rezultatele experimentale din cadrul prezentei lucrări.
- Experimentarea altor tipuri de materiale utilizate pentru fertilizarea solului având alte caracteristici fizice și mecanice decât cele utilizate în lucrare.
- Realizarea unei tehnologii de peletizare a îngrășămintelor organice, care ar presupune presarea și uscarea lor, și deci reducerea considerabilă a volumului și a mirosurilor iar distribuirea acestora pe sol s-ar simplifica.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [6] *Davidescu D.*, Agrochimia. Producerea, pregătirea și folosirea îngrășămintelor și amenamentelor, București: Editura Agro-Silvică, 1963.
- [57] *Thirion F., Chabot F., Andler D.*, „Physical characterization of animal manure,” 98-FAO:8th, pp. 457-468, 1997.
- [58] *Laque C., Agnew J., Roberge M., Landry H.*, „Systems Engineering for Handling and Land Application of Solid and Semi-solid Livestock Manure,” Department of Agricultural & Bioresource Engineering Prairie Swine Centre Inc., Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 2005.
- [63] *Landry H., Laque C., Roberge M.*, „Physical and rheological properties of manure products,” *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 20, nr. 3, pp. 277-288, 2004.
- [64] *Frick R., Heusser J., Shick M.*, „Technique d'épandage des engrais à base de déchets et de fumier de stabulation libre : Qualité du travail et adéquation de différents systèmes d'épandage.” Rapport FAT No. 560, 2001.
- [66] *Landry H.*, Numerical modelling of machine-product interactions in solid and semi-solid manure handling and land application, PhD. Thesis, Saskatchewan, Canada: University of Saskatchewan, 2005.
- [67] *Malgeryd J., Watterberg C.*, „Physical Properties of Solid and Liquid Manures and their Effect on the Performance of Spreading machines,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 64, nr. 4, pp. 289-298, 1996.

- [69] *Scripnic V., Babiciu P.*, Mașini agricole, București: Editura Ceres, 1979.
- [87] *Toma D.*, Calitatea lucrărilor realizate mecanizat în agricultura privatizată și de stat - Culturi de câmp, București: Editura Ceres, 1993.
- [88] <http://mixerfeeders.squarespace.com>, [Interactiv].
- [89] Babaryka S.F., The substantiation of parameters of machine's working bodies for surface applying the sapropels into the soil, Phd. Thesis, Ukraine: Technical University from Ternopil, 2010.
- [102] *Turbin B.G., Lurie A.B., Grigoriev C.M., Grigoriev C.M., Ivanovici E.M., Melnicov C.B.*, Mașini Agricole. Teorie și calcul tehnologic, Leningrad: Editura Mașimostroeni, 1967.
- [103] *Babiciu P.*, Studiul interdependenței dintre parametrii aparatelor de împrăștiere prin centrifugare și uniformitatea de distribuție pe sol a îngrășămintelor minerale, Teza de doctorat, București: Facultatea de Mecanica Agricolă - UPB, 1976.
- [107] **Ștefan V.**, *David L., Popa L., Ciupercă R., Zaica A., Nedelcu A., Anghelut A.*, „Study of the particle motion on a manure fertilizer spreader,” *UPB Scientific Bulletin*, vol. 81, nr. 4, 2019.
- [113] *Landry H., Thirion F., Laguë C., Roberge M.*, „Numerical modeling of the flow of organic fertilizers in land application equipment,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 51, nr. 1-2, pp. 35-53, 2006.
- [118] **Ștefan V.**, *Cârdei P., Vlăduț N.V., Popa L., Ciupercă R., Ungureanu N.*, „Mathematical model for particle motion applied on a manure spreading apparatus used in environmentally friendly technology,” *Environmental Engineering and Management Journal, Gheorghe Asachi Technical University, Iași*, vol. 17, pp. 217-227, Impact factor 1.096, 2018.
- [119] *Cârdei P., Ștefan V., Matache M.G.*, „Mathematical models for calculating the qualitative parameters of organic fertilizer machines,” în *Research people and actual tasks on multidisciplinary sciences*, Lozenec, Bulgaria, 2019.
- [137] *Toma D., Neagu T., Florescu I., Minulescu P., Lepși S.*, Tractoare și mașini agricole, Partea II – Mașini agricole, București: Editura Didactică și Pedagogică, 1981.
- [143] *Păunescu I., David L.*, Bazele cercetării experimentale a sistemelor biotehnice, București: Editura Printech, 1999.