UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Școala Doctotală Ingineria Sistemelor Biotehnice

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND ELABORAREA UNOR ALGORITMI DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA REGIMULUI DE LUCRU OPTIMAL AL MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV

DOCTORAND: Constantin LĂCĂTUȘU

Coordonator

Prof.Habil.Dr.Ing. Sorin-Ștefan BIRIȘ

București, 2025

UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Școala Doctotală Ingineria Sistemelor Biotehnice

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND ELABORAREA UNOR ALGORITMI DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA REGIMULUI DE LUCRU OPTIMAL AL MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV

Autor: Constantin LĂCĂTUȘU

Conducător de doctorat: Prof. habil. dr. ing. Sorin-Ștefan BIRIȘ

COMISIA DE DOCTORAT

Preşedinte	Prof.dr.ing. Gheorghe VOICU	de la	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București
Conducător de doctorat	Prof.Habil.dr.ing. Sorin-Ștefan BIRIȘ	de la	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București
Referent	Academician Prof. dr. ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU	de la	Universitatea ”Dunărea de Jos” din Galați
Referent	Prof.Habil.dr.ing. Ilie DUMITRU	de la	Universitatea din Craiova
Referent	CS1 Habil.Dr.ing. Nicolae-Valentin VLĂDUȚ	de la	INMA București

București, 2025

Cuprins

Capitolul 1 INTRODUCERE 3
1.1.MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI 3
1.2. OBIECTIVELE TEZEI 3
1.3. CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT 3
Capitolul 2 ANALIZA STADIULUI CERCETĂRILOR PRIVIND PREGĂTIREA PATULUI GERMINATIV 5
2.1. Caracteristici fizico-mecanice ale solului agricol 5
2.2. Indici calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ 6
2.3. Tehnologii de pregătire a patului germinativ 7
2.4. Echipamente pentru pregătirea patului germinativ 8
2.4.1. Echipamente pentru afânarea adâncă a solului -scarificatoare 8
2.4.2. Echipamente pentru arat -pluguri 8
2.4.3. Echipamente pentru nivelarea solului -nivelatoare 9
2.4.4. Echipamente complexe de pregătire a patului germinativ -combinatoare 9
2.5. Energetica echipamentelor pentru pregătirea patului germinativ 10
2.5.1. Energetica echipamentelor pentru afânarea adâncă a solului 11
2.5.2. Energetica echipamentelor de arat 11
2.5.3. Energetica echipamentelor pentru nivelarea solului 13
Capitolul 3 METODE DE OPTIMIZARE A SISTEMELOR TEHNICE 13
3.1. Considerații generale 13
3.2. Optimizarea proceselor liniare 13
3.3. Optimizarea neliniară 14
3.4. Optimizarea funcțiilor dependente de o singură variabilă 16
3.5. Optimizarea funcțiilor de o variabilă cu restricții 18
3.6. Optimizarea funcțiilor dependente de *n* variabile 18
3.6.1. Optimizarea funcțiilor dependente de n variabile fără restricții 18
3.6.2. Optimizarea funcțiilor dependente de n variabile cu restricții 20
3.7. Optimizarea funcțiilor numerice 21
Capitolul 4 CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV 22
4.1. Considerații generale 22
4.2. Exploatarea mașinilor agricole destinate pregătirii patului germinativ 24
4.3. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al mașinilor de pregătire a patului germinativ 24
4.3.1. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al echipamentelor pentru afânarea adâncă a solului 24

4.3.2. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al plugurilor 24
4.3.3. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al echipamentelor pentru nivelarea solului 30
4.3.4. Modelarea matematică a consumului energetic al grapelor cu discuri 31
Capitolul 5 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND DETERMINAREA REGIMULUI DE LUCRU OPTIMAL AL MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV 36
5.1. Considerații generale privind cercetarea experimentală 36
5.2. Obiectivele cercetărilor experimentale 36
5.3. Metodologia cercetărilor experimentale 36
5.4. Instalarea echipamentului de măsurare pe tractor 37
5.5. Cercetări experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al plugurilor 38
5.6. Cercetări experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al grapelor cu discuri 41
Capitolul 6 CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE 47
6.1. Concluzii 47
6.2. Contribuții personale 48
6.3. Perspective 49
Bibliografie 50

CUVINTE CHEIE: mașini de prelucrat solul, optimizare, regim de lucru, consum energetic, modelare matematică, exploatare agregate agricole

Capitolul 1 INTRODUCERE

1.1.MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI

Mașinile și echipamentele pentru pregătirea patului germinativ afânează și nivelează stratul superficial al solului pentru a asigura contactul optim sămânță–sol, la o umiditate adecvată, crescând viteza și calitatea răsăririi și contribuind la stabilitatea producțiilor și la eficiența economică. De la uneltele rudimentare utilizate cu sute de ani în urmă până la sistemele moderne de precizie și lucrările conservative, rolul lor a fost și rămâne decisiv în extinderea suprafețelor cultivate și în asigurarea hranei omenirii. Dintre cele mai cunoscute și utilizate, în prezent, mașini și echipamente agricole destinate pregătirii patului germinativ pot fi amintite: plugurile, cultivatoarele, nivelatoarele, grapele, frezele, combinatoarele, tăvălugii etc.

Aceste echipamente funcționează în agregat cu tractoare agricole și se numără printre cei mai mari consumatori de combustibil din fermă, ceea ce impune exploatarea lor în regim optim: indici calitativi cât mai buni, consum energetic minim și productivitate ridicată. Performanțele dorite se obțin prin cercetări experimentale ce generează modele empirice și prin modelare matematică a interdependențelor dintre factorii procesului (sol, organ de lucru, viteză, adâncime, tasare), modele rezolvabile numeric odată cu dezvoltarea calculatoarelor. În prezent, inclusiv în perspectiva utilizării vehiculelor autonome pentru agricultură, sunt necesari algoritmi (care încă lipsesc în majoritatea cazurilor) care să determine regimul de lucru optim al agregatelor tractor–mașină (de ex., minimizarea consumului specific cu respectarea calității patului germinativ), servind drept bază pentru decizii automate privind parametrii de exploatare.

1.2. OBIECTIVELE TEZEI

Tema tezei de doctorat ”*Cercetări privind elaborarea unor algoritmi de calcul pentru determinarea regimului de lucru optimal al mașinilor agricole de pregătire a patului germinativ*” are ca ***obiectiv principal*** realizarea de studii teoretice și elaborarea de modele matematice care să permită elaborarea unor algoritmi de optimizare multi-criterială a regimului de lucru al agregatelor agricole de pregătire a patului germinativ pentru culturile de câmp, validabile prin experimente, astfel încât să se obțină indici calitativi cât mai buni, consum energetic minim și productivitate ridicată.

A fost necesară îndeplinirea următoarelor ***obiective specifice*** în vederea realizării obiectivului principal:

- Analiza stadiului cercetărilor privind pregătirea patului germinativ;
- Analiza metodelor de optimizare a sistemelor tehnice și elaborarea de programe pentru calcul numeric;
- Modelarea matematică a consumului energetic al plugurilor;
- Modelarea matematică a consumului energetic al grapelor cu discuri;
- Desfășurarea de cercetări experimentale în vederea determinării procesului de lucru optim al plugurilor și validarea modelelor matematice;
- Desfășurarea de cercetări experimentale în vederea determinării procesului de lucru optim al grapelor cu discuri și validarea modelelor matematice.

1.3. CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat cuprinde 6 capitole, 199 pagini, 145 de figuri și grafice, 26 tabele, 342 relații matematice, o bibliotecă ce conține 37 de coduri Python pentru calcul numeric și optimizare şi 112 referințe bibliografice.

În **Capitolul 1** ,,INTRODUCERE“ se prezintă motivația alegerii temei tezei de doctorat, obiectivul principal și obiectivele specifice al tezei de doctorat, precum și o trecere succintă în revistă a conținutului tezei de doctorat.

În **Capitolul 2** ,,ANALIZA STADIULUI CERCETĂRILOR PRIVIND PREGĂTIREA PATULUI GERMINATIV“ este prezentat nivelul de dezvoltare la care au ajuns tehnologiile de

mecanizare și echipamentele de pregătire a patului germinativ la nivel mondial. Aici este făcută o trecere în revistă a caracteristicilor fizico-mecanice ale solului agricol -specific patului germinativ, a indicilor calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ; a tehnologiilor de pregătire a patului germinativ, a principalelor echipamente utilizate în prezent pentru pregătirea patului germinativ (scarificatoare, pluguri, nivelatoare, combinatoare). Tot aici sunt evidențiate aspecte legate de energetica echipamentelor destinate pregătirii patului germinativ, respectiv a celor destinate afânării adânci a solului, efectuării lucrării de arat și a celor destinate lucrării de nivelare a solului.

Capitolul 3 ,,METODE DE OPTIMIZARE A SISTEMELOR TEHNICE“ prezintă aspecte legate de necesitatea elaborării de modele matematice și algoritmi de calcul pentru optimizarea proceselor desfășurate de echipamentele tehnice și este făcută o analiză a principalelor metode de optimizare și de calcul numeric, completată de un pachet de programe scris în limbaj Python pentru fiecare caz în parte. Aici se regăsesc elementele teoretice și algoritmii de calcul ale problemelor de optimizare a proceselor liniare incluzând algoritmul simplex primal, problema transporturilor, metoda diagonalei, metoda costurilor minime și determinarea soluției optime. De asemenea, sunt prezentate elementele teoretice și algoritmii de calcul ale problemelor de optimizare neliniară, incluzând: metoda Fletcher-Reeves (a gradienților conjugați), metoda Davidon-Fletcher-Powell, metoda programării geometrice. Sunt prezentate elementele teoretice și algoritmii de calcul pentru optimizarea funcțiilor dependente de o singură variabilă, respectiv: metoda Grid, metoda Fibonacci, metoda secțiunii de aur, metode de optimizare polinomială a funcțiilor de o variabilă (optimizarea pătratică, optimizarea cubică), precum și elemente teoretice ale optimizării funcțiilor de o variabilă cu restricții. Mai regăsim aici o prezentare a elementelor teoretice și a algoritmilor pentru optimizarea funcțiilor dependente de n variabile, precum: metode de optimizare a funcțiilor dependente de n variabile fără restricții (metoda căutării aleatoare, metoda drumului aleator, metoda căutării unidimensionale), metode de optimizare a funcțiilor dependente de n variabile cu restricții (metoda multiplicatorilor lui Lagrange, metoda funcțiilor de penalizare), iar la finalul capitolului se regăsesc elementele de calcu și algoritmii necesari optimizării funcțiilor numerice, incluzând metoda regresiei liniare și metoda regresiei polinomiale.

În **Capitolul 4** ,,CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV'' sunt prezentate: schema bloc sistemică pentru procesul optimizabil de prelucrare a solului de către un agregat tractor-mașină, o clasificare a proceselor deterministe și aleatoare în cazul agregatelor agricole, particularități privind exploatarea mașinilor agricole de pregătire a patului germinativ. Importante sunt modelele matematice elaborate pentru estimarea consumului energetic pentru mașinile de pregătire a patului germinativ (echipamente pentru afânare adâncă a solului, pluguri, nivelatoare, grape cu discuri). Se remarcă modelele matematice și algoritmii de calcul numeric (coduri Python) pentru modelarea matematică a consumului energetic al plugurilor care permite, utilizând metoda multiplicatorilor lui Lagrange, determinarea lățimii optime de lucru și a vitezei optime a agregatului de arat, dar și a puterii necesare pentru tractarea plugului și a consumului energetic pe unitatea de suprafață calculată. Totodată, se remarcă modelele matematice și algoritmii de calcul numeric (coduri Python) pentru modelarea matematică a consumului energetic al grapelor cu discuri în două variante de exploatare (semipurtată și purtată), care permite calculul forței rezistente a grapei cu discuri, calculul reacțiunilor normale pe punțile tractorului, calculul forței motoare a tractorului și calculul forței de tracțiune al tractorului în agregat cu grapa cu discuri în funcție de caracteristicile fizico-mecanice ale solului.

În **Capitolul 5** ,,CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND DETERMINAREA REGIMULUI DE LUCRU OPTIMAL AL MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV'' se prezintă, la început, unele considerații generale privind cercetarea experimentală, cu trecerea în revistă a semnificației principalilor indicatori statistici, apoi, sunt prezentate obiectivele cercetării experimentale, cu precizarea obiectivului principal și a obiectivelor secundare, este prezentată metodologia generală a cercetărilor experimentale, precum și aparatura și echipamentele utilizate la încercările experimentale. Apoi, sunt prezentate rezultatele obținute în cadrul cercetărilor experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al plugurilor utilizând un agregat agricol format dintr-un tractor A 1800-A (de 180 CP) și un plug PP5VM (cu 5 trupițe, cu lățime de lucru variabilă), cu scopul de a valida modelele matematice și algoritmii de calcul

pentru determinarea regimului de lucru optim al agregatului de arat. Și, tot aici, sunt prezentate rezultatele obținute în cadrul cercetărilor experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al grapelor cu discuri utilizând un agregat agricol format dintr-un tractor U-650 (de 65 CP) și, comparativ, o grapă cu discuri obișnuită GD-3.2 (semipurtată în transport și tractată în procesul de lucruun, respectiv o grapă purtată, cuplată la tractor prin intermediul mecanismului de cuplare cu prindere în trei puncte GD-3.2P, cu scopul de a valida modelele matematice și algoritmii de calcul pentru determinarea regimului de lucru optim al agregatului de discuit.

Capitolul 6 ,,CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE " prezintă concluziile formulate în baza cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei de doctorat, contribuțiile personale ale autorului cu privire la elaborarea unor algoritmi de calcul pentru determinarea regimului de lucru optim al mașinilor agricole destinate pregătirii patului germinativ și propuneri de cercetări viitoare în acest domeniu.

Capitolul 2 ANALIZA STADIULUI CERCETĂRILOR PRIVIND PREGĂTIREA PATULUI GERMINATIV

2.1. Caracteristici fizico-mecanice ale solului agricol

Solul este un sistem polidispers și eterogen, compus din trei faze: faza gazoasă, faza lichidă și faza solidă (45% minerală, 5% organică) (Dicţionar 1972). Proprietățile solului se împart în două categorii (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990) (Allire și Boyer 1995, Ancău și Nistor 1996):

- Proprietățile ce influențează atât creșterea cât și dezvoltarea plantelor, ce se referă la proprietăți chimice și hidrofizice;
- Proprietăţile care influenţează acţiunea utilajelor utilizate în lucrările agricole, care se referă la proprietăţi fizico-mecanice și fizice.

Proprietățile fizice principale ale solului includ: aria specifică, porozitatea, densitatea și densitatea aparentă, structura și textura (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990).

- ***Porozitatea solului*** reprezintă raportul, în procente, dintre volumul total al porilor şi cel al solului.
- ***Densitatea solului*** este reprezentată de masa unității volumice a fazei solide.
- ***Densitatea aparentă*** este masa volumetrică ce se calculează luându-se în considerare raportul dintre masa solului uscat şi volumul total al mostrei de solul ce se recoltează în așezare naturală.
- ***Textura solului*** se referă la proporția procentuală a particulelor principale din compoziția unui sol. Aceasta reprezintă structura granulometrică a solului. Pentru clasificarea particulelor în mai multe fracțiuni granulometrice se utilizează scări, dintre care cele mai comune sunt scara USDA și scara Atterberg, prezentate în tabelele 2.1 și 2.2.:

Tabel 2.1. *Gruparea particulelor din sol în mai multe fracţiuni granulometrice conform Scării USDA* (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990)

Argilă [mm]	Praf [mm]	Nisip fin [mm]	Nisip mijlociu [mm]	Nisip grosier [mm]	Nisip foarte grosier [mm]	Material scheletic [mm]
< 0,002	0,002 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,50	0,50 - 1,00	1,00 - 2,00	> 2,00

Tabel 2.2. *Gruparea particulelor din sol în mai multe fracţiuni granulometrice conform Scării Atterberg* (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990)

Argilă [mm]	Praf [mm]	Nisip fin [mm]	Nisip grosier [mm]	Material scheletic [mm]
<0,002	0,002 - 0,02	0,02 - 0,20	0,20 - 2,00	>2,00

Solurile sunt împărțite în clase texturale, ce sunt cunoscute și sub denumirea de specii texturale, în funcție de textură. În România, sunt utilizate 10 clase texturale, care sunt grupate în 5 categorii observabile în tabelul 2.3 (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990).

Tabel 2.3. *Clasificarea solurilor în funcție de textura acestora* (Koolen și Kuipers 1983, Canarache 1990)

Categoria	**Specia texturală**	Argilă [%]		Praf [%]
		< 0,01 mm	**< 0,002 mm**	**0,02 - 0,002 mm**
Fină	Argiloasă	> 71	> 61	> 33
	Argilo-lutoasă	46 - 60	46 - 60	-
Mijlocie fină	Luto-argil.-praf.	46 - 60	33 - 45	> 33
	Luto-argiloasă	46 - 60	33 - 45	< 32
Mijlocie	Luto-prăfoasă	31 - 45	21 - 32	> 33
	Lutoasă	31 - 45	21 - 32	15 - 30
	Luto-nisip.-argil.	31 - 45	21 - 32	< 14
	Luto-nisipoasă	< 20	< 12	> 33
Grosieră mijlocie	Nisipo-lutoasă	11 - 20	6 - 12	< 32
Grosieră	Nisipoasă	< 10	< 5	< 32

Proprietățile principale fizico-mecanice ale solului sunt reprezentate de: frecarea, variația de volum, plasticitatea, consistența, aderența, coeziunea, deformarea acestuia în urma prelucrărilor agricole (rezistența la arat, rezistența la penetrare, rezistența la tăiere, rezistența la compresiune) (Gill și Vanden Berg 1968, Augustin, și alții 2019, Canarache 1990).

Rezistența solului la penetrare se poate calcula luând în considerare formula:

$$\sigma_p = n \cdot \frac{G}{S} \quad [\text{Pa}] \tag{2.1}$$

unde: n este numărul de lovituri; G reprezintă greutatea utilizată, măsurată în N; S reprezintă secțiunea maximă de la vârful de penetrare, măsurată în m^2.

Tabel 2.4. *Interpretarea rezultatelor pentru rezistența solului la penetrare* (McKyes 1985, Canarache 1990)

Apreciere	**Rezistența la penetrare, [*kPa*]**
Uşor	< 15
Mijlociu	15 - 50
Greu	50 - 150
Foarte greu	> 150

Proprietăţile chimice ale solurilor

Solul este un sistem eterogen, în care materia solidă se găsește sub forme de dispersie variate. Atât materia organică, cât și cea minerală din sol se prezintă sub formă de particule fine cu diametre de $\phi < 2\mu$, formând coloizii solului. Complexul coloidal este format din întregul ansamblu de coloizi din sol. Acesta are capacitatea de a efectua schimbul ionic și de a adsorbi diverse substanțe aflate în soluția solului (McKyes 1985).

2.2. Indici calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ

Indicii calitativi de lucru sunt reprezentați de către un ansamblu de valori determinabile sau măsurabile utilizând instrumente specifice, utilizate pentru a evalua un proces de lucru. În cazul lucrărilor pentru pregătirea patului germinativ, acești indici arată gradul de îndeplinire a cerințelor agrotehnice necesare solului la momentul semănatului (Brătucu 1999).

Tabel 2.5. *Interpretarea valorilor masei volumetrice ale solurilor se referă la evaluarea densității solului în funcție de structura și gradul său de afânare* (McKyes 1985, Canarache 1990)

Masa volumetrică, [g/cm^3]	**Interpretare**
1,30 - 1,40	Strat arat puternic tasat
1,20	Strat arat tasat
1,00 - 1,10	Strat arat
Sub 1,00	Sol bogat în materie organică sau foarte afânat

Tabel 2.6. *Valorile de referinţă pentru indicii calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ* (Constantinescu și Popescu 2009, Şandru 1983)

Indicii calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ	**Valori**
Gradul de distrugere a buruienilor	$G_{db} > 95{,}00$ %
Gradul de mărunţire al solului	$G_{ms} > 75{,}00$ %
Coeficientul de variaţie a adâncimii de lucru	$C_a \leq \pm 0{,}10$
Abaterea standard a adâncimii de lucru	$s_a \leq \pm 0{,}10\ a_m$
Abaterea maximă de la adâncimea medie de lucru	$\Delta_a \leq \pm 0{,}20\ a_m$
Abaterea medie de la adâncimea medie de lucru	$\delta_a \leq \pm 0{,}10\ a_m$
Indicii calitativi de lucru la lucrările de bază	**Valori**
Gradul de distrugere a buruienilor	$G_{db} > 90{,}00$ %
Gradul de mărunţire al solului	$G_{ms} > 70{,}00$ %
Coeficientul de variaţie a adâncimii de lucru	$C_a \leq \pm 0{,}10$
Abaterea standard a adâncimii de lucru	$s_a \leq \pm 0{,}10\ a_m$
Abaterea maximă de la adâncimea medie de lucru	$\Delta_a \leq \pm 0{,}20\ a_m$
Abaterea medie de la adâncimea medie de lucru	$\delta_a \leq \pm 0{,}10\ a_m$

2.3. Tehnologii de pregătire a patului germinativ

Solul este mediul în care rădăcinile plantelor se dezvoltă și este un corp natural aflat într-o continuă evoluție, influențat de factorii de mediu și de intervenția omului.

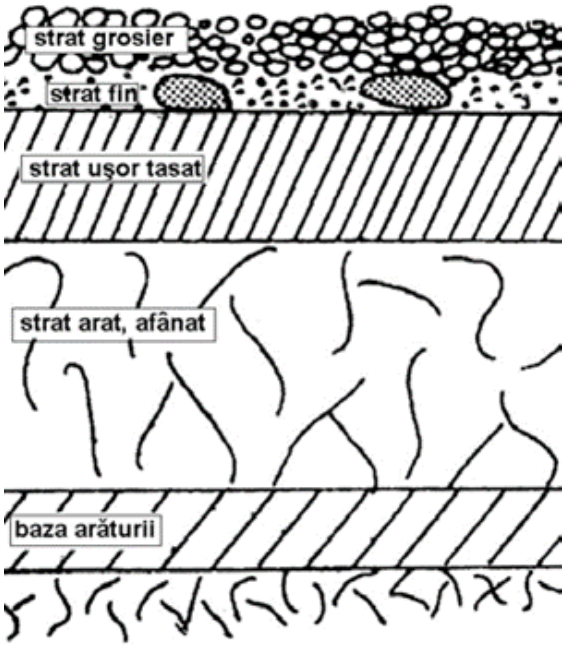


Figura 2.1. *Straturile patului germinativ* (Naghiu 2004)

Patul germinativ pregătit (Figura 2.1) răspunde la următoarele cerinţe agrotehnice (Ciulu și Bârcă 2002):

- suprafața solului trebuie menținută într-o stare mai grosieră, pentru a preveni formarea crustei ce ar putea împiedica răsărirea plantelor;
- stratul de sol destinat așezării semințelor trebuie să fie fin, astfel încât apa din apropiere să poată intra în contact cu acestea și să asigure umiditatea necesară germinării;
- stratul de sol pe care sunt așezate semințele trebuie ușor tasat, pentru a sprijini creșterea verticală a plantei;
- pentru o dezvoltare optimă a rădăcinilor, baza patului germinativ trebuie afânată profund, asigurând atât un regim aero-hidric corespunzător, cât și prezența substanțelor nutritive indispensabile creșterii plantelor.

Tehnologiile moderne includ o serie de lucrări pentru pregătirea terenului, valabile în cazul fiecărui sistem de cultură: pregătirea patului germinativ pentru semănat, arătura de toamnă, fertilizarea de bază, udarea de aprovizionare, nivelarea, afânarea terenului, înlăturarea resturilor vegetale. Totuși, în funcție de fiecare tip de cultură, sunt aplicate într-un mod diferit. (Ciulu 2000, Bodolan și Brătucu 2013, Drăguțan și Demetrescu 1984).

2.4. Echipamente pentru pregătirea patului germinativ

Mașinile agricole de lucrat solul se clasifică în funcție de modul în care sunt antrenate organele lor de lucru, astfel (Căproiu Șt. 1982, Manian și Kathirvel 2001):

- maşini echipate cu organe de lucru mobile,ce sunt antrenate de la sol;
- mașini echipate cu organe de lucru mobile având mișcări de rotație sau vibratoare, care sunt antrenate utilizând priza de putere cu care este echipat tractorul;
- maşini echipate cu organe de lucru târâte.

2.4.1. Echipamente pentru afânarea adâncă a solului -scarificatoare

Afânarea adâncă este o lucrare a solului, care presupune mărunțirea stratului de sol sub-arabil, fără a-l răsturna (Cojocaru, Marin și Voicu 2006, Marin 2011, Mitroi 1994, Upadhyay și Raheman 2020, Vlad 2013). Scopul lucrării este reprezentat de îmbunătățirea aerării solului, facilitarea infiltrării apei în adâncime și crearea condițiilor optime în vederea dezvoltării rădăcinilor plantelor, incluzând distrugerea hardpanului.

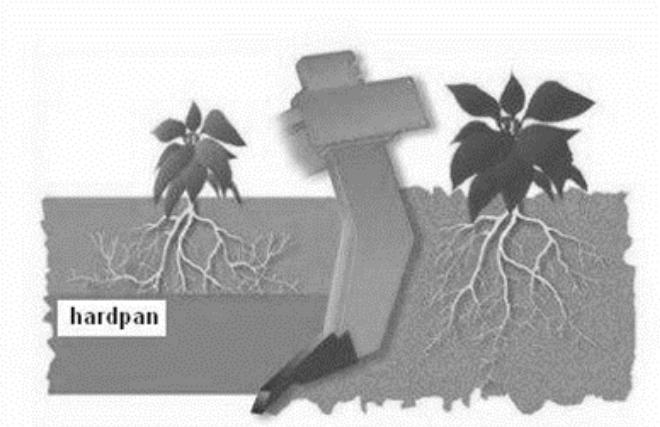


Figura 2.2. *Efectul afânării adânci asupra solului* (Ciulu și Bârcă 2002)

Afânarea profundă a solului se realizează la o adâncime de 45–55 cm și este recomandată cel puțin o dată la doi ani. În același timp, pot fi efectuate și lucrări precum încorporarea îngrășămintelor sau executarea drenurilor de tip „cârtiță” (Croitoru, și alții 2017).

Afânarea adâncă a solului se efectuează pe teren uscat, cu o umiditate cuprinsă între 60-80 % din IUA, pentru a asigura aderența roților motoare și forța de tracțiune necesară pentru acționarea subsolierului (Ciulu și Bârcă 2002).

2.4.2. Echipamente pentru arat -pluguri

Plugul reprezintă echipamentul agricol utilizat pentru arătură, un proces ce realizează desprinderea solului în brazde, mărunțirea acestora, precum și răsturnarea acestora la o adâncime prestabilită în stratul arabil, asigurând astfel condițiile optime pentru dezvoltarea plantelor



Figura 2.3. *Construcţia unui plug purtat cu 5 trupițe* (Teșu 1984)

Plugurile (Figura 2.3) sunt compuse din următoarele părți principale: organele de lucru și anume antetrupițe, trupițe, scormonitori și cuțite, care realizează lucrarea de arat, și organele auxiliare și anume roți, axe cadrul, triunghiul de prindere pe tractor, și mecanisme care asigură fixarea și reglarea organelor de lucru.

2.4.3. Echipamente pentru nivelarea solului -nivelatoare

Nivelarea este reprezentată de lucrarea agricolă care are scopul de a obţine o suprafaţă uniformă a terenului agricol, fiind realizată atât prin nivelare capitală, cât şi prin nivelare de întreţinere (Dicţionar 1972).



Figura 2.4. *Nivelator tractat [https://losantonios.com/ro/lame-de-nivelare/]*

Nivelatorul este susținut de roțile de sprijin în timpul lucrului. Pe măsură ce mașina se deplasează, tăișul lamei acționează ca o pană, pătrunzând în sol la o adâncime de lucru reglată și desprinzând un strat de sol din denivelare.

2.4.4. Echipamente complexe de pregătire a patului germinativ -combinatoare

Combinatoarele sunt utilaje agricole prevăzute cu diverse organe de lucru (săgeți, gheare, colți, dălți, stele etc.), ce acționează în succesiune asupra stratului superior al solului, efectuând operații de mărunțire, afânare și netezire. Sunt utilizate la lucrările solului în vederea pregătirii acestuia pentru semănat (Scripnic și Babiciu 1979).

În general, combinatoarele (figura 2.5) sunt formate dintr-un vibrocultor A (cultivator de prelucrare totală a solului), compus din: cadrul 1, dispozitivul de cuplare la sursa de energie 2, roţile de limitare a adâncimii de lucru 3, organele de afânare 4 şi o grapă elicoidală B care se compune din cadrul 5, două rotoare cu vergele 6, sistemul de reglare a orizontalităţii 7.

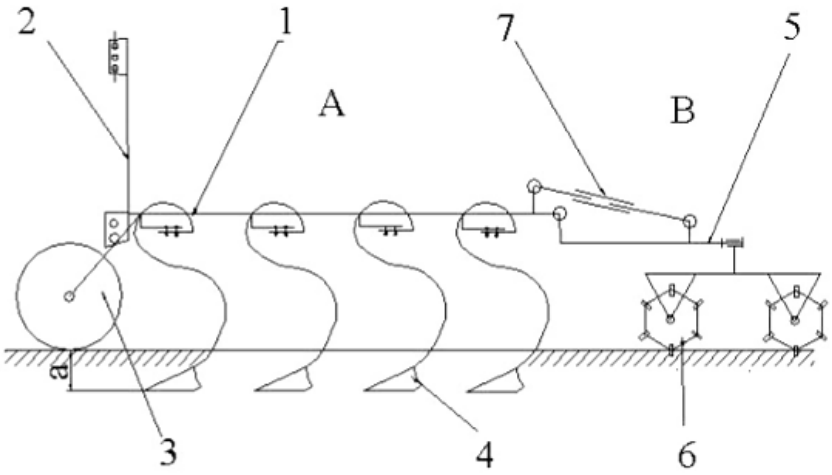


Figura 2.5. *Schema generală a unui vibrocombinator* (Căproiu Şt. 1982)

2.5. Energetica echipamentelor pentru pregătirea patului germinativ

Pregătirea solului este o lucrare foarte importantă în vederea asigurării condițiilor optime de dezvoltare și creștere a plantelor, însă reprezintă și un consum semnificativ de energie (Brătucu 2006, Srivastava, și alții 2006).

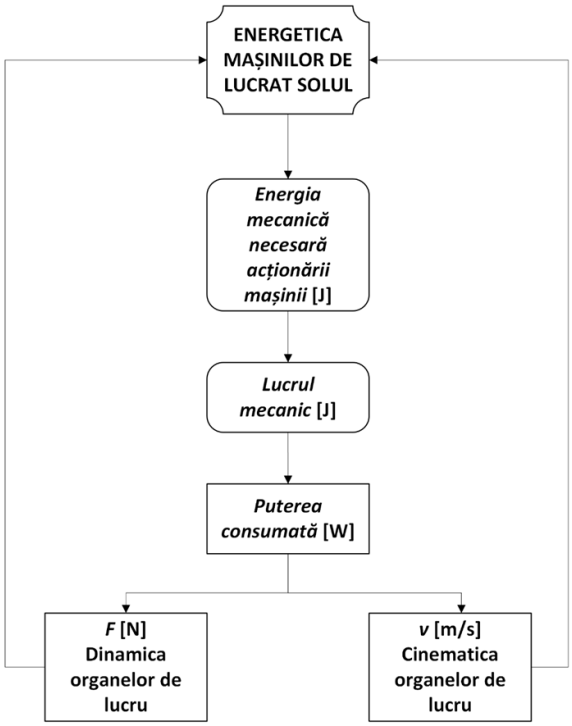


Figura 2.6. *Schema bloc pentru studiul energeticii mașinilor de lucrat solul* (Ciulu și Bârcă 2002)

Energetica analizează procesul tehnologic mecanizat din perspectiva utilizării și exploatării diferitelor forme de energie (Brătucu 2007, P. Okoko 2017). Studiul energeticii mașinilor pentru lucrările solului din punct de vedere teoretic constă în determinarea și calcularea componentelor de energie care sunt necesare pentru prelucrarea solului (Constantinescu, Popa și Dumitru 2006, Boruz 2005, Kheiralla, și alții 2004, Lekavičienė, și alții 2019).

Energia mecanică care este necesară pentru efectuarea lucrării solului se exprimă prin următoarea relație (Ciulu și Bârcă 2002) (Constantinescu 2005):

$$E_t = E_{lucrare} + E_{pierderi} \ [J] \qquad (2.2)$$

unde: E_t - energia mecanică totală utilizată pentru acţionarea maşinii, măsurată în *J;* $E_{lucrare}$ - energia utilizată pentru efectuarea proceselor de lucru mecanizate, măsurată în *J*; $E_{pierderi}$ - energia ce se pierde în transmisia maşinilor datorită frecărilor (Brătucu 1999, Brătucu 2010).

Astfel, studiul energeticii maşinilor de lucrat solul se reduce la studiul puterii consumate de către maşini (Figura 2.6) (Ciulu și Bârcă 2002, Kurach și Amantayev 2020).

Puterea consumată se calculează ca produs între forțele ce acționează asupra unei mașini în momentul lucrării solului, *F*, și viteza de deplasare, *v,* conform relației (Kheiralla, și alții 2004):

$$P = F \cdot v \ \ [W] \tag{2.3}$$

2.5.1. Energetica echipamentelor pentru afânarea adâncă a solului

Scarificatoarele sunt utilizate pentru afânarea adâncă a solului. Această lucrare contribuie la îmbunătățirea aerisirii, facilitarea infiltrării apei în straturile adânci și crearea condițiilor optime în vederea dezvoltării rădăcinilor plantelor (Rus 1987).

Subsolierul se poate pune în funcțiune prin forța de tracțiune a tractorului. Procesul de lucru al subsolierului implică atât suportul vertical, cât și brăzdarul. Brăzdarul funcționează ca o pană simplă, ce dislocă solul, îl separă de fundul brazdei, apoi îl ridică și în final îl mărunțește. Se formează o zonă de deformație în fața organului de lucru, unde solul este afânat (Gheres și Roș 2007). Suportul vertical al subsolierului poate despica și deplasa lateral solul din această zonă, creând un șanț. Brăzdarul se montează la un unghi α față de orizontală cu scopul de a realiza tăierea solului prin alunecare (Gill și Vanden Berg 1968, Anpat și Raheman 2017).

În timpul procesului de lucru, tăișul brăzdarului taie solul în urma acțiunii forței de tracțiune, F_t (Ciulu și Bârcă 2002, Mamman și Oni 2005). Solul opune rezistență prin forța normală de apăsare, N (Carol 1980, Căproiu 1982). Având în vedere aceste forțe, valoarea forței care este necesară pentru deplasarea penei ($F_{brazdar}$) se calculează folosind următoarea relație (Ghereș și Ghereș 2013, Ciulu și Bârcă 2002, Harrigan și Rotz 1994):

$$F_{brazdar} = N' \cdot \sin(\alpha + \varphi) + R_N \cdot tg\varphi_1 = \frac{N}{cos\varphi} \cdot \sin(\alpha + \varphi) + R_N \cdot \mu_1 \ \ [N] \tag{2.4}$$

Energetica subsolierelor analizează consumul de energie asociat fiecărei operații de lucru mecanizată realizate de subsolier. Prelucrarea solului utilizând subsolierul presupune un consum energetic semnificativ (Perdok și Kouwenhoven 1994). Este necesară evaluarea tuturor factorilor care pot influența acest consum, pentru a identifica metode de reducere a acestuia.

Energia totală necesară prelucrării solului cu ajutorul subsolierului poate fi exprimată prin relația următoare: (Gheres și Roș 2007):

$$E_t = E_{subsolier} + E_{pierderi} \ \ [J] \tag{2.5}$$

unde: $E_{subsolier}$ este energia necesară afânării adânci a solului, *J*; $E_{pierderi}$ - energia consumată de pierderile din mecanismul maşinii, *J*.

Puterea necesară acţionării subsolierelor, P_s are trei componente și anume (Gheres și Roș 2007):

$$P_s = P_d + P_t + P_{dsp} \ \ [W] \tag{2.6}$$

unde: P_d - reprezintă puterea necesară deplasării maşinii, măsurată în W; P_t – reprezintă puterea necesară tăierii şi dislocării solului, măsurată în W; P_{dsp} – reprezintă puterea necesară pentru despicarea solului dislocat, măsurată în W (Ciulu și Bârcă 2002).

2.5.2. Energetica echipamentelor de arat

Pe măsură ce agregatul tractor–plug înaintează, trupița va tăia solul în brazde cu lățimea *b* și adâncimea *a*. Aceste brazde sunt ridicate pe suprafața activă a cormanei, sunt mărunțite și apoi răsturnate lateral, având secțiunea *axb* (Figura 2.7) (Scripnic și Babiciu 1979, Babiciu și Biriș 1998).

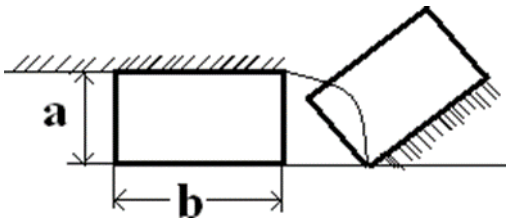


Figura 2.7*. Modul de lucru al trupiței* (Scripnic și Babiciu 1979) (Ancău și Nistor 1996)

Rezistența la tracțiune se determină utilizând formula Goriacikin propusă pentru plugurile cu trupițe și cormană. Această formulă reflectă esența fizică a procesului de lucru realizat de trupiță (Ghereș 2014):

$$R_{arat} = f \cdot G_{plug} + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v_m^2 \quad (2.7)$$

Formula se compune din trei termeni, R_d, R_{taiere}, $R_{aruncare}$:

$$\begin{cases} R_d = f \cdot G_{plug} \\ R_{taiere} = k \cdot a \cdot b \cdot n \\ R_{aruncare} = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v_m^2 \end{cases} \quad (2.8)$$

unde: R_d - reprezintă rezistenţa opusă la înaintare, măsurată în *N*; R_{taiere} – reprezintă rezistenţa opusă la tăierea, ridicarea şi destrămarea solului, măsurată în *N*; $R_{aruncare}$ – reprezintă rezistenţa opusă la aruncarea solului dislocat, măsurată în *N*.

Energia totală necesară pentru prelucrarea solului cu ajutorul plugului poate fi exprimată prin următoarea relație (Gheres și Roș 2007):

$$E_t = E_{arat} + E_{pierderi} \quad [J] \quad (2.9)$$

unde: E_{arat} - reprezintă energia ce este necesară pentru prelucrarea solului cu ajutorul plugului, măsurată în J; $E_{pierderi}$ - reprezintă energia ce este consumată de către pierderile din mecanismul maşinii, măsurată în J.

Energia necesară poate fi determinată folosind următoarele relații (Gheres și Roș 2007):

$$E_{arat} = L_{arat} = P_{arat} \cdot t_{arat} \quad [J] \quad (2.10)$$

unde: L_{arat} - reprezintă lucrul mecanic ce este consumat la arat, măsurat în *J*; t_{arat} – reprezintă timpul în care este executată lucrarea de arat, măsurat în *s*.

Relaţia (2.9) devine:

$$E_t = P_{arat} \cdot t_{arat} + E_{pierderi} \quad [J] \quad (2.11)$$

Puterea necesară acţionării plugului, P_{arat} are trei componente (Gheres și Roș 2007):

$$P_{arat} = P_d + P_t + P_a \quad [W] \quad (2.12)$$

în care: P_d reprezintă puterea care este necesară în vederea deplasării plugului, *W*; P_t reprezintă puterea care este necesară în vederea tăierii solului, *W*; P_a reprezintă puterea care este necesară pentru aruncarea solului, *W*.

Puterea de acţionare pentru plug se poate calcula:

$$P_{arat} = f \cdot G_{plug} \cdot v_m + k \cdot a \cdot b \cdot v_m + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v_m^3 \quad [W] \quad (2.13)$$

Energia totală necesară acţionării plugului se poate calcula cu ajutorul relaţiei:

$$E_{arat} = f \cdot G_{plug} \cdot v_m \cdot t_{arat} + k \cdot a \cdot b \cdot v_m \cdot t_{arat} + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v_m^3 \cdot t_{arat} + E_{pierderi} \quad [J] \quad (2.14)$$

2.5.3. Energetica echipamentelor pentru nivelarea solului

Prelucrarea solului utilizând nivelatorul implică un consum energetic care este relativ scăzut. Cu toate acestea, este necesar să se analizeze toţi factorii care influenţează consumul de energie, pentru a identifica metode de reducere a acestui consum. Energia totală necesară pentru prelucrarea solului utilizând nivelatorul poate fi exprimată prin relaţia următoare (Ciulu și Bârcă 2002):

$$E_t = E_{niv} + E_{pierderi} \quad [J] \tag{2.15}$$

unde: E_{niv} - reprezintă energia care este necesară pentru nivelarea solului, măsurată în *J*; $E_{pierderi}$ – reprezintă energia care este consumată de pierderile din mecanismul maşinii, măsurată în *J*.

Dar:

$$E_{niv} = L_{niv} = P_{niv} \cdot t_{niv} \quad [J] \tag{2.16}$$

unde: L_{niv} este lucrul mecanic consumat la nivelarea solului, *J*; P_{niv} – puterea necesară efectuării nivelării, în *W*; t_{niv} - timpul în care se execută nivelarea, *s*.

Capitolul 3 METODE DE OPTIMIZARE A SISTEMELOR TEHNICE

3.1. Consideraţii generale

Activitatea de optimizare cuprinde practic toate domeniile de activitate. Pentru rezolvarea unei probleme de optimizare trebuie să se parcurgă două faze, şi anume: elaborarea modelului matematic al procesului şi căutarea optimului (Nădejde 1971). Modelul matematic, în înţelesul general, este o schemă abstractă alcătuită cu ajutorul simbolurilor şi semnelor matematice, care exprimă procesul de lucru al unei maşini, instalaţii sau agregat agricol, o tehnologie de mecanizare sau oricare altă activitate (Dobrescu 1981). Modelul matematic trebuie să caracterizeze proprietăţile esenţiale ale obiectului de studiu, fiind lipsit de detalii şi particularităţi. În concluzie, un model matematic se prezintă printr-un sistem de ecuaţii care leagă într-un tot parametrii ce caracterizează elementele esenţiale pentru scopul urmărit (Simionescu, Dranga și Moise 1995).

În procesul de optimizare se au în vedere aşa numitele criterii de optimizare. Acestea pot fi: capacitatea maximă de lucru a agregatelor, consumul minim de energie pe unitatea de lucru efectuat, consumul minim de combustibil pe unitatea de lucru efectuat, puterea minimă a sursei energetice a agregatului, masa redusă a agregatelor, necesarul redus de forţă de muncă, consumul minim de materiale pe unitatea de lucru efectuat, pierderi minime din recoltă, indicatori de calitate superiori, fiabilitate maximă a agregatelor, durata minimă de folosinţă a utilajelor, condiţii maxime de confort, cheltuieli minime pe unitatea de lucru efectuat, beneficiu maxim, randament maxim etc (Dobrescu 1981).

Modelul matematic este format din: funcţia scop şi restricţiile (Anderson, și alții 2017). Funcția scop exprimă relația funcțională dintre parametrii agregatului sau ai instalației tehnologice și criteriul de optimizare. Restricțiile reprezintă condițiile de legătură dintre parametrii procesului și indicatorii de utilizare (Bebea 1978).

Problemele supuse optimizării se împart în două mari categorii, şi anume (Cârlan 1994):

- optimizarea problemelor liniare, în care funcţia scop şi restricţiile sunt liniare;
- optimizarea problemelor neliniare, caz în care funcţia scop este neliniară.

3.2. Optimizarea proceselor liniare

Programarea liniară este una dintre metodele de optimizare cele mai des întâlnite în toate domeniile de activitate. Scopul programării liniare este acela de a determina valoarea minimă sau maximă a unei funcţii liniare numită funcţie obiectiv, în prezenţa unor restricţii exprimate prin ecuaţii sau inecuaţii liniare (Şerban și Dumitrescu 1998, Mihu 1977).

Cea mai cunoscută metodă pentru rezolvarea unei probleme de programare liniară foloseşte *algotitmul simplex primal* stabilit în 1948 de către Dantzing (Simionescu, Dranga și Moise 1995).

Algoritmul simplex primal

Algoritmul simplex de programare liniară este o procedură în două faze pentru determinarea unei soluţii optime. În prima fază se găseşte o soluţie de bază iniţială sau se obţin informaţii că o astfel de soluţie nu există. În faza a doua se foloseşte soluţia de bază, obţinută la prima fază, ca punct de plecare pentru determinarea unui punct de minim sau pentru a informa că minimul este nemărginit (Lasdon 1975).

Problema transporturilor

Deseori, se întâlnesc anumite probleme de programare liniară ce pot fi soluţionate mult mai uşor cu ajutorul unor algoritmi specializaţi pe problemele respecticve. Astfel, dacă se consideră un anumit produs ce se află în cantităţile $a_1, a_2, \dots, a_m$, în depozitele $A_1, A_2, \dots, A_m$ numite surse, şi care trebuie transportat în cantităţile $b_1, b_2, \dots,$ b_n la depozitele $B_1, B_2, \dots, B_n$, numite destinaţii, cerându-se în acelaşi timp ca transportul să se realizeze cu cheltuieli minime, se poate genera un algoritm specific clasei de probleme care să conducă la soluţia admisibilă (Iaciu 2003).

Metoda costurilor minime

În cazul metodei costurilor minime, folosită la determinarea soluţiei iniţiale de bază, se iau în considerare şi costurile c_{ij}. Astfel, la primul pas se determină componenta x_{kl} pentru care $c_{kl} = min\, c_{ij}$. În tabel se înscrie valoarea $x_{kl} = min(a_k, b_l)$. La pasul următor se repetă procedeul pentru tabelul redus. Deseori, metoda costurilor minime furnizează o soluţie iniţială de bază mai bună decât metoda diagonalei, astfel că numărul iteraţiilor pentru îmbunătăţirea soluţiei iniţiale de bază, adică determinarea minimului, să fie mai mic sau chiar egal cu zero (Iaciu 2003).

Determinarea soluţiei optime. Descrierea algoritmului.

Pentru determinarea soluţiei optime, cunoscându-se o soluţie iniţială de bază, se utilizează un algoritm specific problemei transporturilor. Astfel, se întocmeşte un număr de cicluri, egal cu numărul locaţiilor libere. Un astfel de ciclu porneşte de la o locaţie liberă, fie aceasta (i, j), parcurge un traseu rectangular astfel încât să conţină în colţuri numai celule ocupate şi revine în aceeaşi locaţie din care s-a plecat. În fiecare colţ al ciclului se înscriu indicii locaţiei respective, încadraţi de paranteze rotunde, precum şi costul aferent celulei. Pentru a testa optimalitatea soluţiei se trece în celula corespunzătoare variabilei x_{ij}, cantitatea δ_{ij}, egală cu suma algebrică cu semn alternat a costurilor ce apar în ciclul (i, j), în care se începe cu $+c_{ij}$. Dacă rezultă celule în care cantităţile δ_{ij} sunt negative, aceasta înseamnă că soluţia nu este optimă şi se trece la îmbunătăţirea acesteia. Modificarea corespunzătoare a soluţiei se va face atribuind componentei x_{ij} o valoare nenulă θ. Mărimea lui θ trebuie să fie astfel aleasă, încât scăzută şi adunată la variabilele ciclului în cauză, după cum costurile au fost scăzute şi adunate pentru determinarea lui δ_{ij}, să nu se obţină valori negative (se ia cazul limită când valoarea unei celule poate fi zero) (Dancea 1976).

3.3. Optimizarea neliniară

Optimizarea neliniară se utilizează pentru modelele matematice în care funcțiile obiectiv au o formă neliniară (Simionescu, Dranga și Moise 1995). Aceste funcţii obiectiv pot să depindă de o variabilă ce este independentă sau de n variabile ce sunt independente, unde $n \geq 2$ (Dancea 1976). Totodată, există și optimizarea neliniară cu sau fără restricţii (Lasdon 1975). Literatura de specialitate menționează numeroase metode de rezolvare a problemelor de optimizare neliniară, dintre care în acest paragraf sunt prezentate câteva.

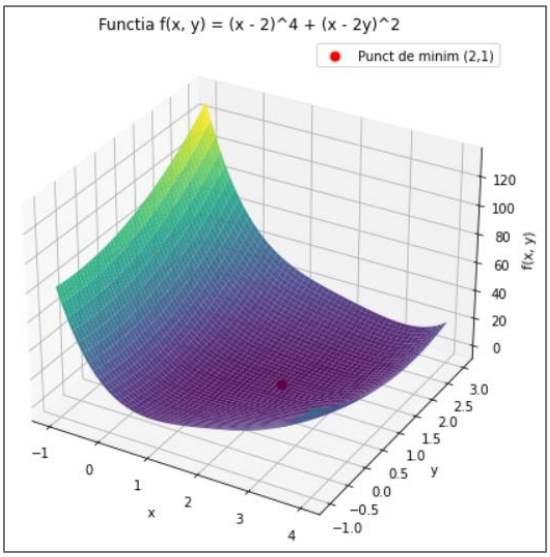


Figura 3.1. *Reprezentarea 3D a funcției f(x,y) și a punctului de minim utilizând metoda Fletcher şi Reeves utilizând metoda Davidon-Fletcher-Powell*

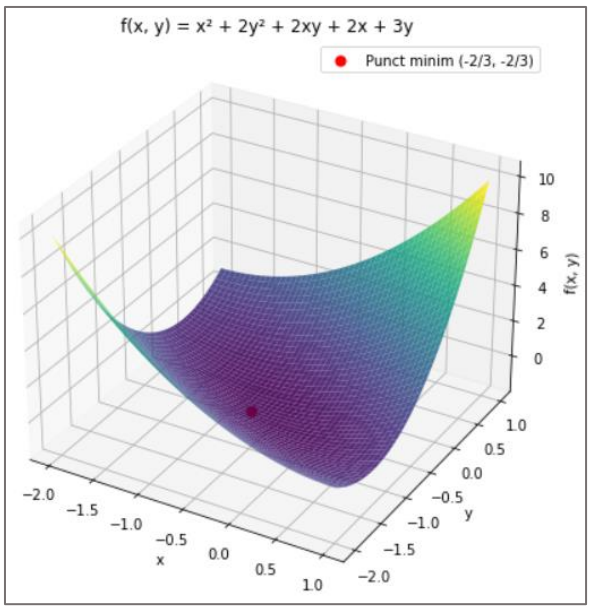


Figura 3.2. *Reprezentarea 3D a funcției f(x,y) și a punctului de minim utilizând metoda Davidon-Fletcher-Powell*

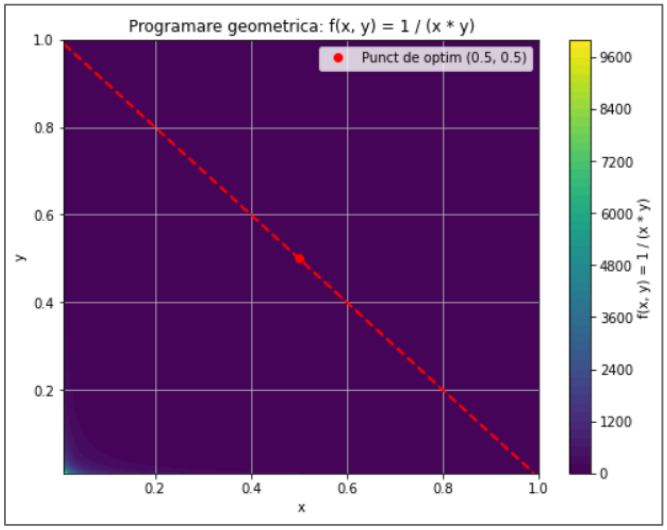


Figura 3.3. *Reprezentarea 2D a funcției f(x,y) și a punctului de optim utilizând programarea geometrică*

3.4. Optimizarea funcțiilor dependente de o singură variabilă

Determinarea minimului (maximului) unei funcţii $f(x)$, de o singură variabilă, se poate face, după cum este cunoscut din analiza matematică, prin rezolvarea ecuaţiei (Dancea 1976, Dragușin, Drăgușin și Câslaru 1993):

$$\frac{df(x)}{dx} = 0. \qquad (3.1)$$

Pentru aplicarea acestei metode este necesar ca funcţia să fie derivabilă pe intervalul în care se află punctul de minim şi expresia analitică a derivatei să fie cât mai simplă (Ixaru 1979). De aceea această metodă este, în unele cazuri, foarte greoaie, ceea ce impune folosirea unor metode mai simple, intuitive şi care să nu necesite rezolvarea analitică a ecuaţiei (3.107). Câteva metode aproximative de determinare a minimului unei funcţii sunt prezentate în continuare.

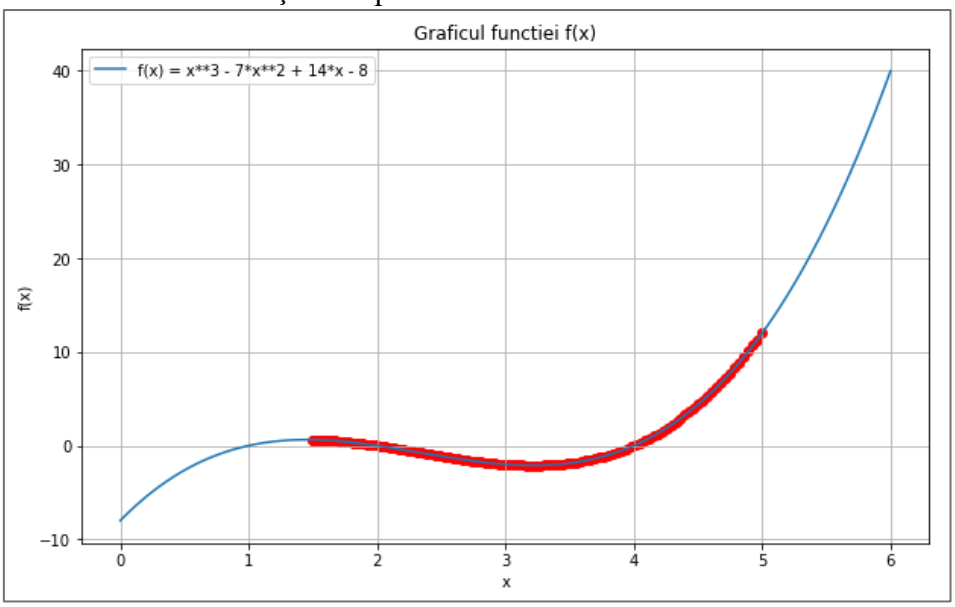


Figura 3.4. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă în cazul metodei Grid*

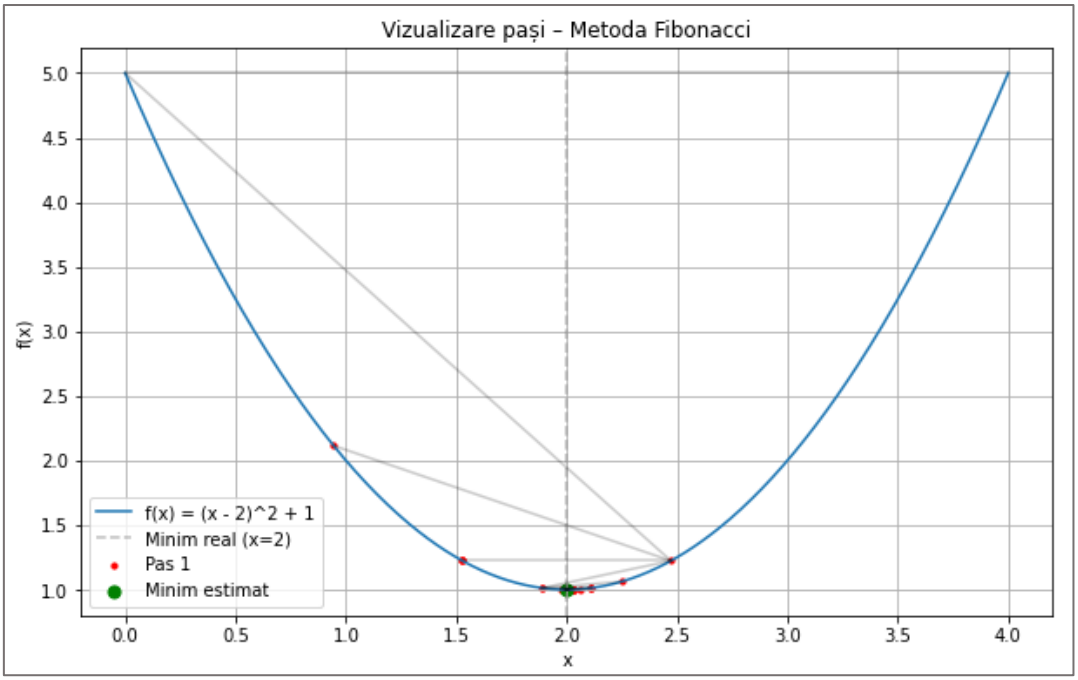


Figura 3.5. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă și a pașilor parcurși pentru identificarea punctului de minim utilizând metoda Fibonacci*

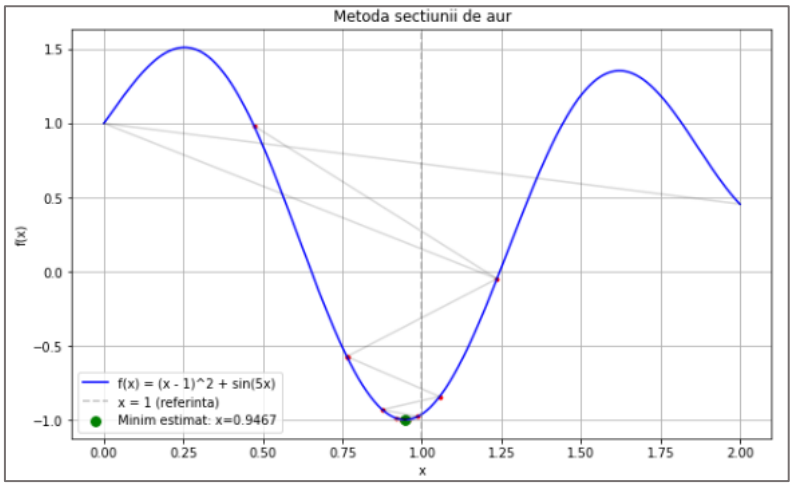


Figura 3.6. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă și a pașilor parcurși pentru identificarea punctului de minim utilizând metoda secțiunii de aur*

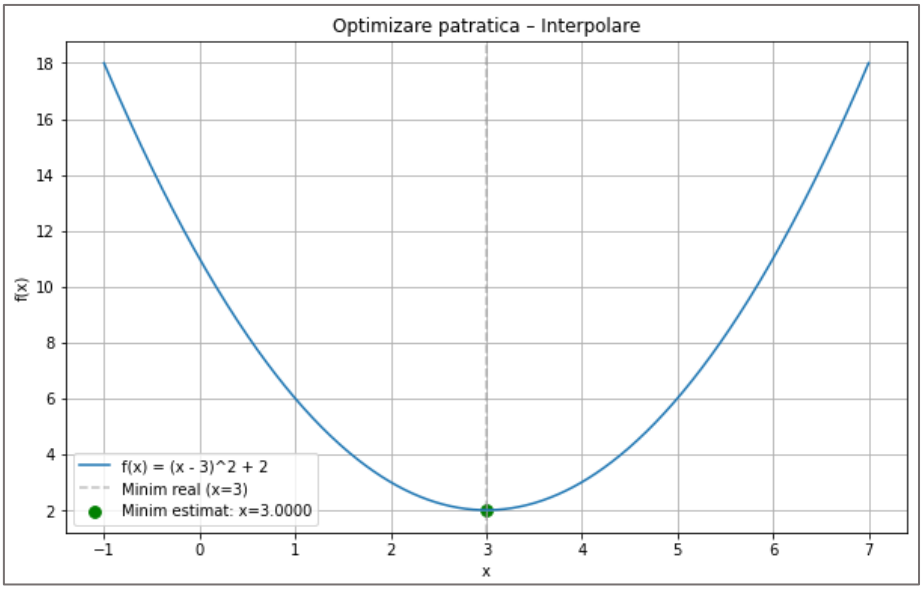


Figura 3.7. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă și a pașilor parcurși pentru identificarea punctului de minim prin optimizare pătratică*

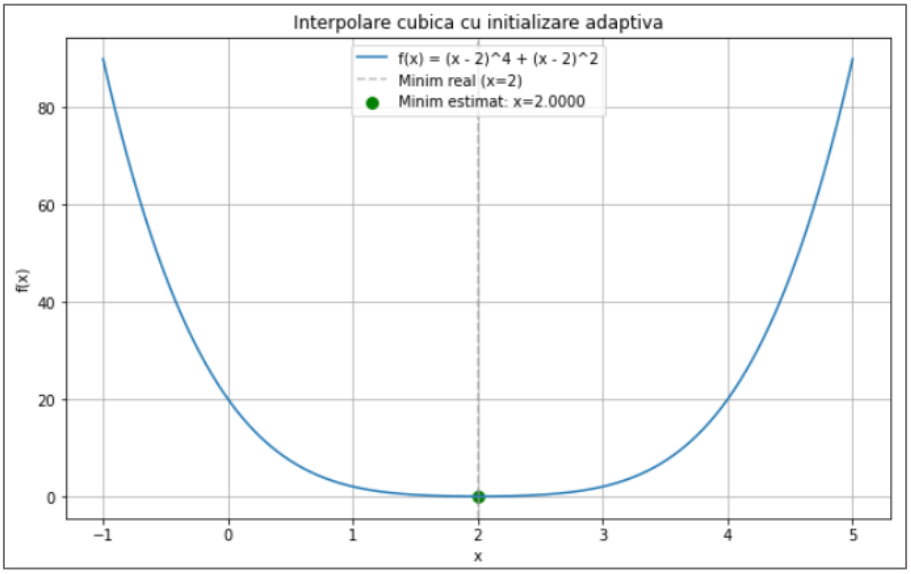


Figura 3.8. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă pentru identificarea punctului de minim prin optimizare cubică*

3.5. Optimizarea funcțiilor de o variabilă cu restricții

Modelul matematic pentru o problemă de minim cu restricţii, a unei funcţii de o variabilă, se prezintă în felul următor (Dancea 1976):

să se minimizeze f(x), (3.2)

supusă la restricţiile $g_j(x) \leq 0, j = \overline{1,m},\ x > 0.$ (3.3)

Aceste metode de optimizare, în care, pentru determinarea punctului de optim, se pleacă de la o valoare mică a parametrului de penalizare şi apoi în mod secvenţial se creşte valoarea acestuia soluţionând la fiecare pas o problemă de optimizare fără restricţii, poartă numele de Sequential Unconstrained Minimization Techniques, sau mai pe scurt SUMT.

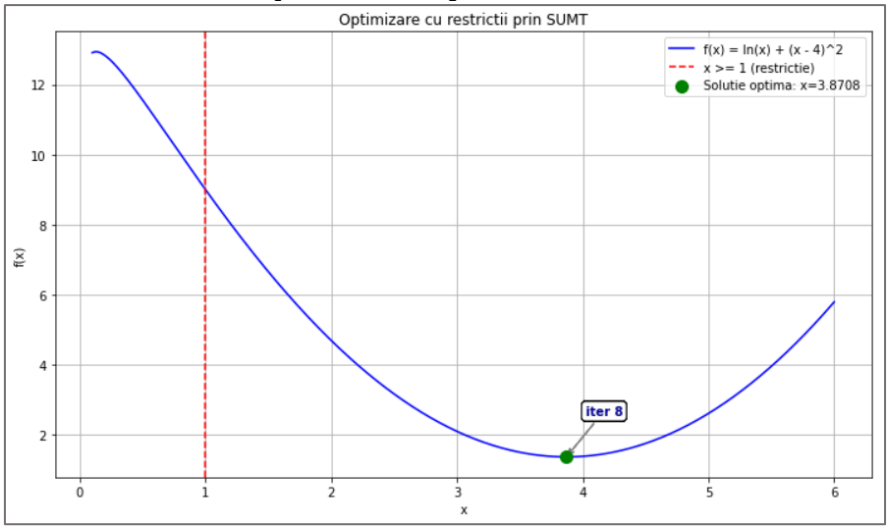


Figura 3.9. *Reprezentarea 2D a graficului funcției de o singură variabilă pentru optimizarea funcțiilor cu restricții SUMT*

3.6. Optimizarea funcțiilor dependente de *n* variabile

3.6.1. Optimizarea funcțiilor dependente de n variabile fără restricții

În practică se întâlnesc multe probleme în care se cere determinarea minimului unei funcţii $f(x)$, unde $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, fără a se impune alte condiţii suplimentare variabilelor. În acest sens, se folosesc atât metode în care este necesară doar evaluarea funcţiei, cât şi metode care folosesc informaţiile referitoare la gradientul funcţiei obiectiv (Ancău și Nistor 1996, Dancea 1976, Lasdon 1975, Malița și Zidăroiu 1975, Smigelschi și Woinaroschy 1978).

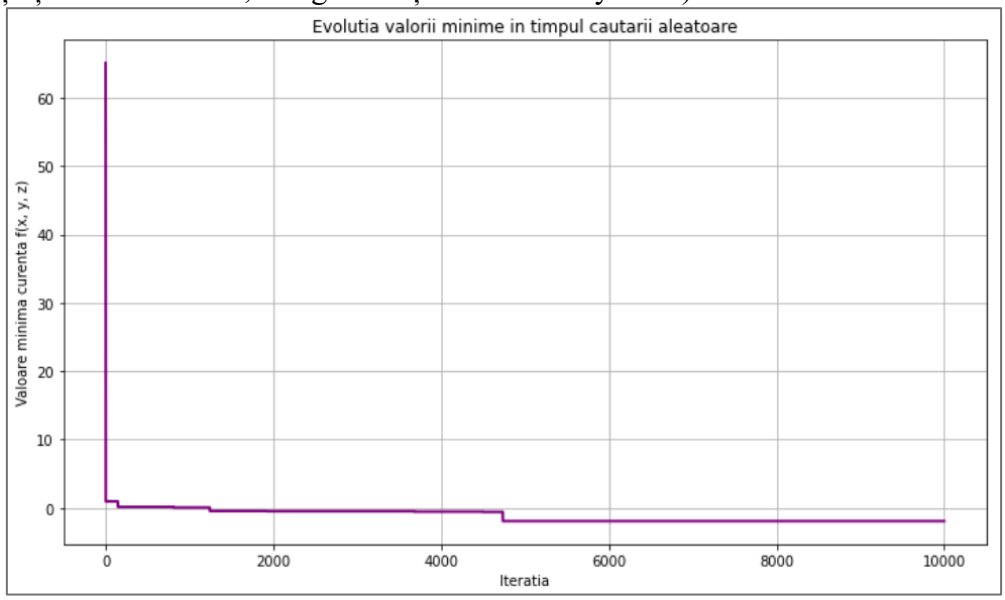


Figura 3.10. *Reprezentarea evoluției valorii minime în timpul căutării aleatoare în cazul funcțiilor dependente de n variabile fără restricții*

Metoda căutării aleatoare determină minimul global al unei funcţii de n variabile şi are la bază generarea unui grup de numere aleatoare într-un domeniu prestabilit (Dancea 1976). Valorile variabilelor, faţă de care funcţia este definită, sunt alese cu ajutorul numerelor aleatoare. În acest sens, la fiecare iteraţie a procesului de minimizat se generează o succesiune de numere aleatoare având densitatea de probabilitate uniformă în domeniul de variaţie admis. Cu ajutorul acestor numere aleatoare se stabilesc valorile pentru variabilele funcţiei obiectiv. Pentru toţi aceşti vectori se determină valorile funcţiei obiectiv şi se reţine acel vector pentru care funcţia are valoare minimă. În continuare, se restrânge domeniul în jurul punctului de minim aflat, şi procesul se repetă pentru o nouă iteraţie.

Metoda drumului aleator foloseşte tot numerele aleatoare în căutarea minimului funcţiei obiectiv, însă găsirea vectorului variabilelor funcţiei se face cu ajutorul relaţiei (Dancea 1976):

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \gamma \cdot r \qquad (3.4)$$

unde: $x^{(k)}$ - este vectorul de poziţie al punctului de aproximaţie la iteraţia k; γ - un scalar; r – un vector unitate având direcţia aleatoare.

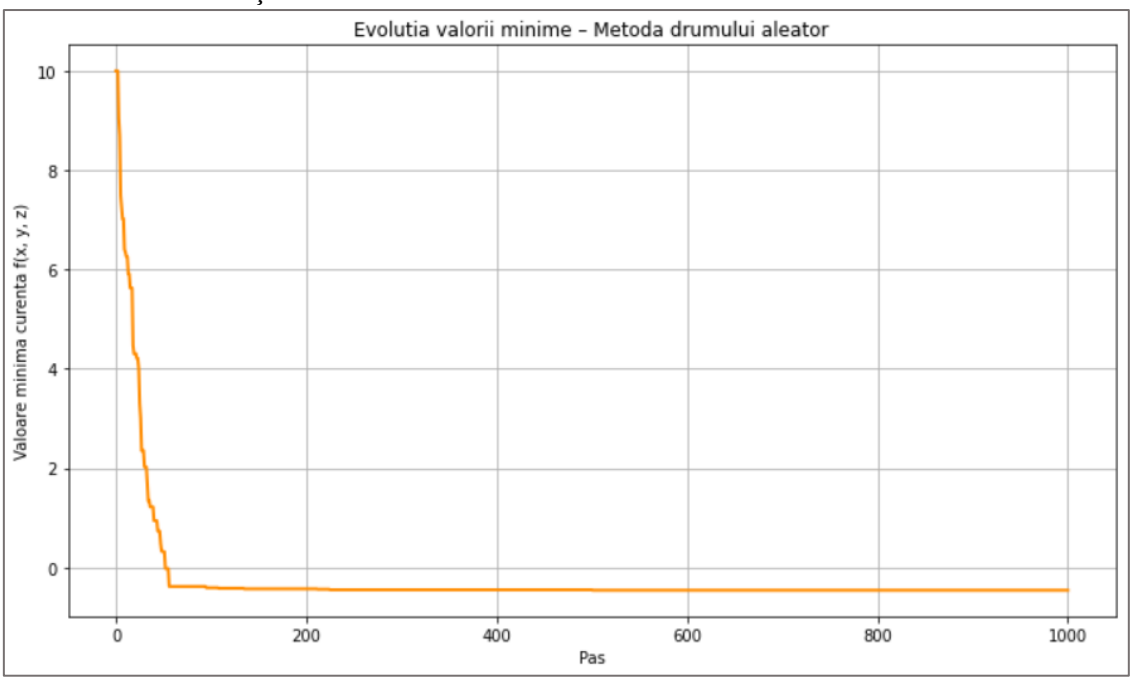


Figura 3.11. *Reprezentarea evoluţiei valorii minime în timpul căutării utilizând metoda drumului aleator*

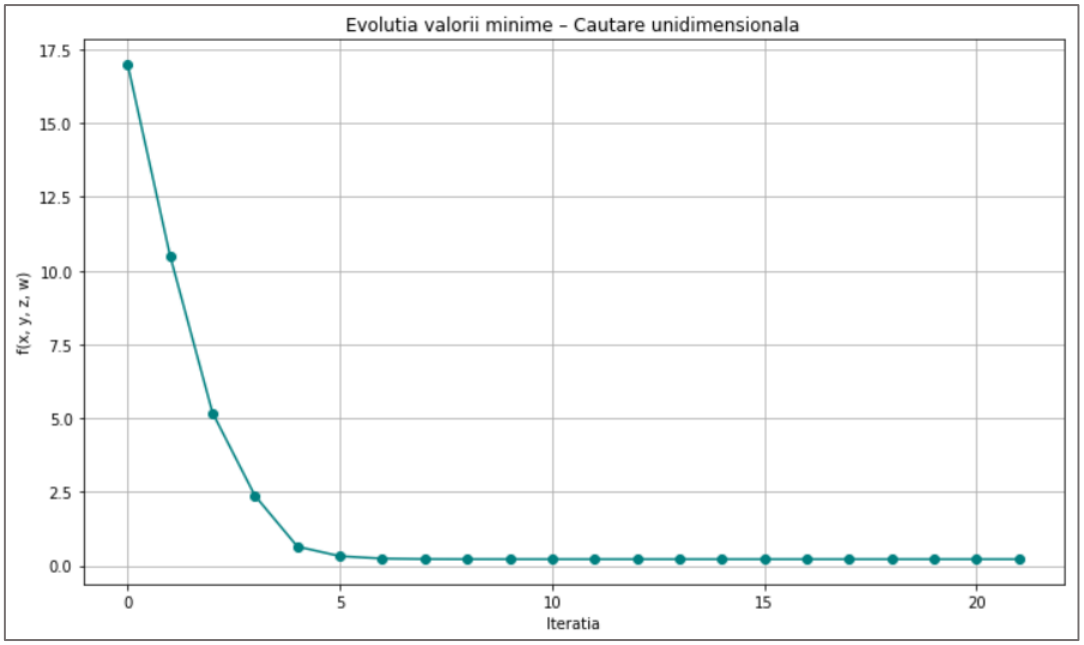


Figura 3.12. *Reprezentarea evoluţiei valorii minime în cazul metodei căutării unidimensionale*

Metoda căutării unidimensionale determină minimul funcţiei $f(x)$, modificând pe rând componentele vectorului *x* (Dancea 1976). Procesul de căutare a minimului porneşte cu incrementarea primei componente, adică x_1, celelalte rămânând constante atât timp cât funcţia $f(x)$ descreşte. Urmează incrementarea celei de a doua componente a vectorului *x*, ş.a.m.d. În momentul în care s-au modificat toate componentele se consideră că s-a încheiat un ciclu. Procesul de căutare a minimului funcţiei obiectiv se reia din nou cu incrementarea primei componente, după ce incrementul a fost micşorat, efectuându-se astfel un număr de cicluri complete până când funcţia $f(x)$ ajunge la o valoare minimă.

3.6.2. Optimizarea funcţiilor dependente de n variabile cu restricţii

Metoda multiplicatorilor lui Lagrange

Presupune găsirea minimului (maximului) unei funcţii obiectiv (Dancea 1976):

$$f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{3.5}$$

în raport cu condiţiile

$$g_j(X) = g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq= 0, \;\; j = \overline{1,m}, \tag{3.6}$$

Unde $m < n$. Se presupune că atât funcţia obiectiv, cât şi restricţiile admit derivate parţiale de ordinul întâi în raport cu variabilele $x_i, i = \overline{1,n}$.

Metoda multiplicatorilor lui Lagrange constă în considerarea unei funcţii auxiliare $F: R^{n+m} \rightarrow R$, de forma:

$$F(X, \lambda) = f(X) + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j g_j(X) \tag{3.7}$$

în care $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ sunt multiplicatori Lagrange.

Condiţia necesară de minim a funcţiei $F(X, \lambda)$ constă în anularea derivatelor parţiale de ordinul întâi, adică (Lasdon 1975, Carol 1980):

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^{m} \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial x_i} = 0, \;\; i = \overline{1,n};$$
$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_j} = g_j(X) = 0, \; j = \overline{1,m} \tag{3.8}$$

sau:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} + \lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial x_1} + \lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial x_1} + \cdots + \lambda_m \frac{\partial g_m}{\partial x_1} = 0;$$
$$\frac{\partial f}{\partial x_2} + \lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial x_2} + \lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial x_2} + \cdots + \lambda_m \frac{\partial g_m}{\partial x_2} = 0;$$
$$\dots\dots\dots

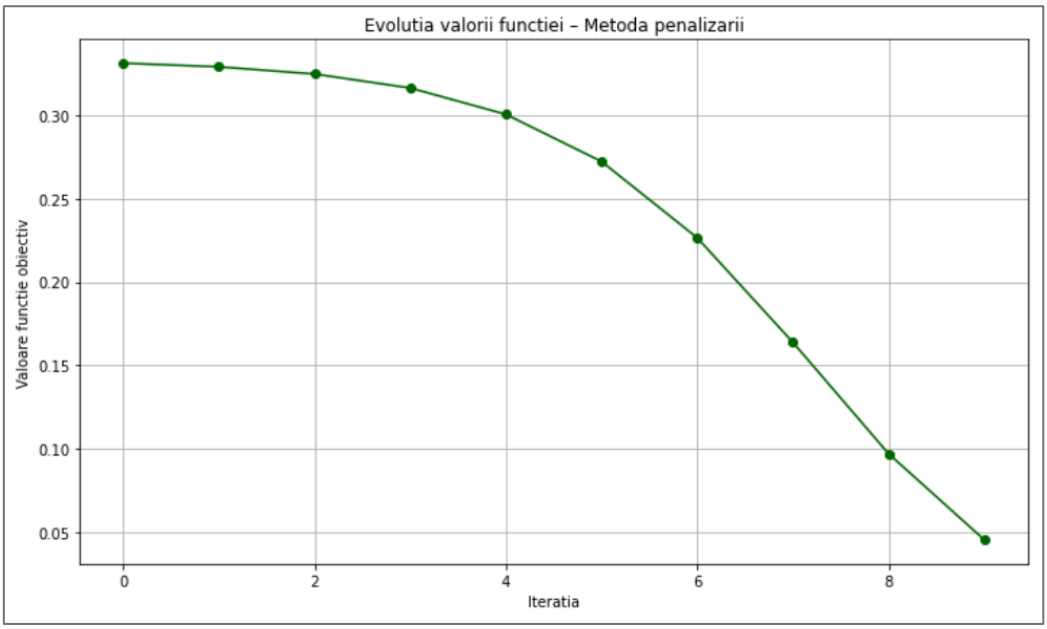


Figura 3.13. *Reprezentarea evoluției valorii funcției în cazul metodei penalizării*

3.7. Optimizarea funcțiilor numerice

In cazul funcţiilor numerice sunt situaţii în care se cere aproximarea acestora cu funcţii analitice, dar în acelaşi timp redarea fenomenului în cauză trebuie să se facă cât mai fidel (Dancea 1976). Dacă numărul punctelor pentru care se cunosc valorile funcţiei este mic, această aproximare se poate face cu ajutorul polinoamelor de interpolare (Newton dreapta, Newton stânga, Guass dreapta, Gauss stânga, Lagrange sau cu ajutorul funcţiilor speciale Hermite, Cebîşev, Laguere, Legendre). Dacă numărul acestor puncte este foarte mare, volumul de calcul pentru determinarea coeficienţilor polinoamelor de interpolare este foarte mare, ceea ce conduce la obţinerea unor erori de trunchiere şi de rotunjire considerabile. De asemenea, la culegerea datelor experimentale corespunzătoare unui anumit fenomen, se produc diferite erori inerente care conduc la obţinerea unei anumite funcţii ce nu redă cel mai bine procesul în cauză (Lasdon 1975).

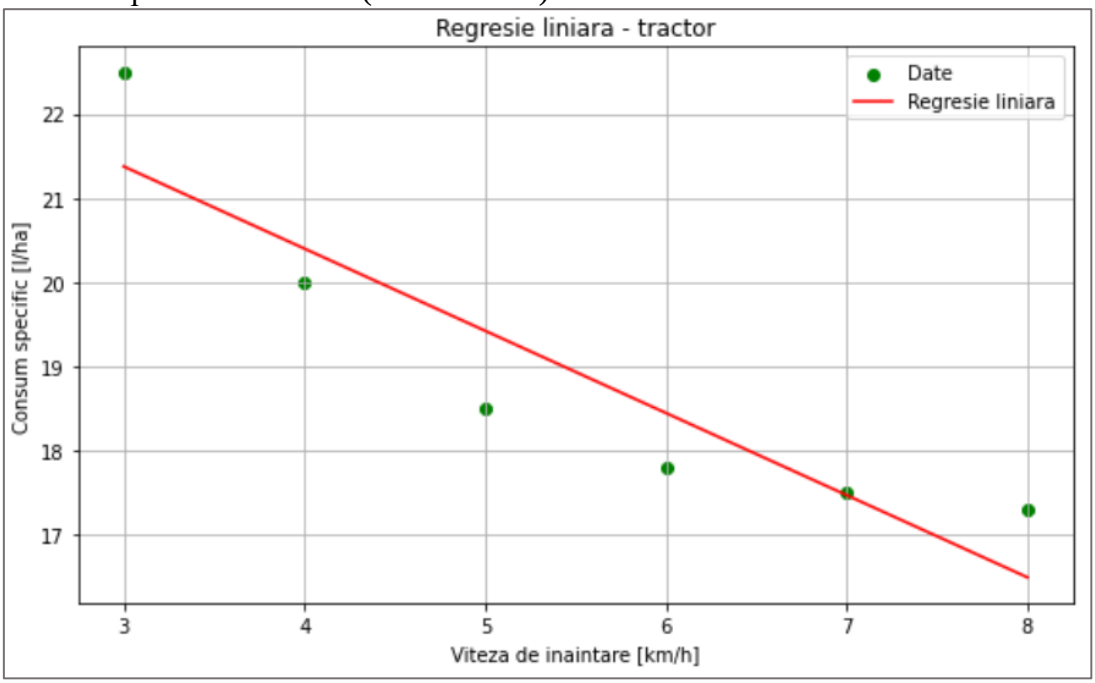


Figura 3.14. *Reprezentarea evoluției valorii funcției în cazul regresei liniare*

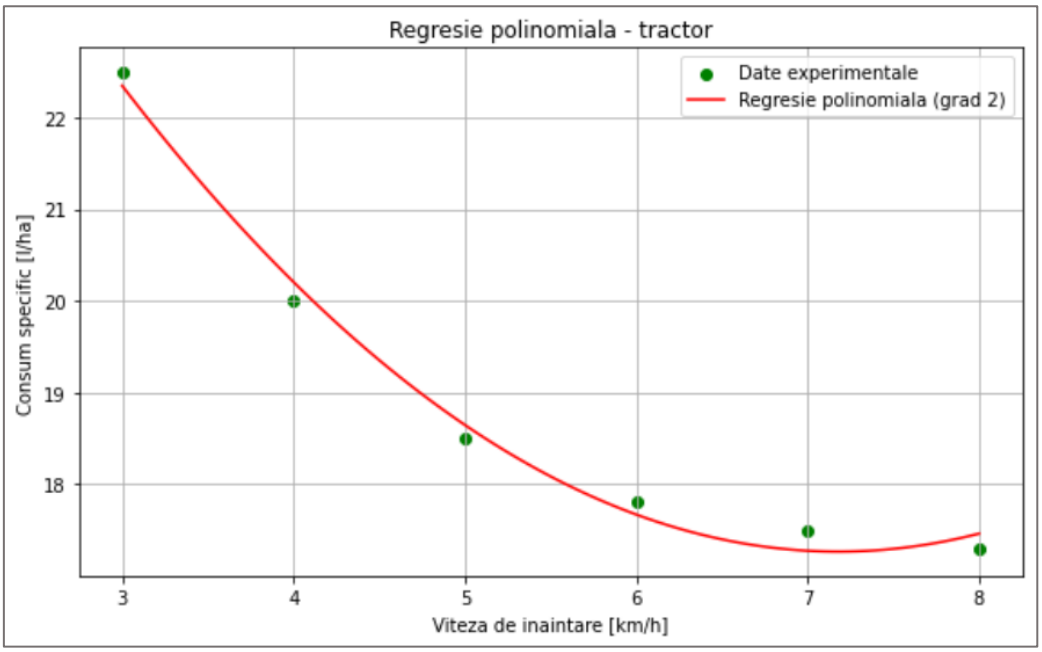


Figura 3.15. *Reprezentarea evoluției valorii funcției în cazul regresei polinomiale*

Capitolul 4 CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV

4.1. Considerații generale

Sistema de mașini agricole utilizate pentru lucrările solului, care realizează pregătirea patului germinativ, este considerată un sistem, după cum se observă în figura 4.1 (Trendafilov, și alții 2023). Obiectivul optimizării constă în determinarea parametrilor optimi ai procesului de pregătire a patului germinativ. Pentru optimizarea procesului de pregătire a patului germinativ, este necesară elaborarea de modele matematice care să simuleze consumul energetic al componentelor sistemului de mașini agricole, validabile experimental.

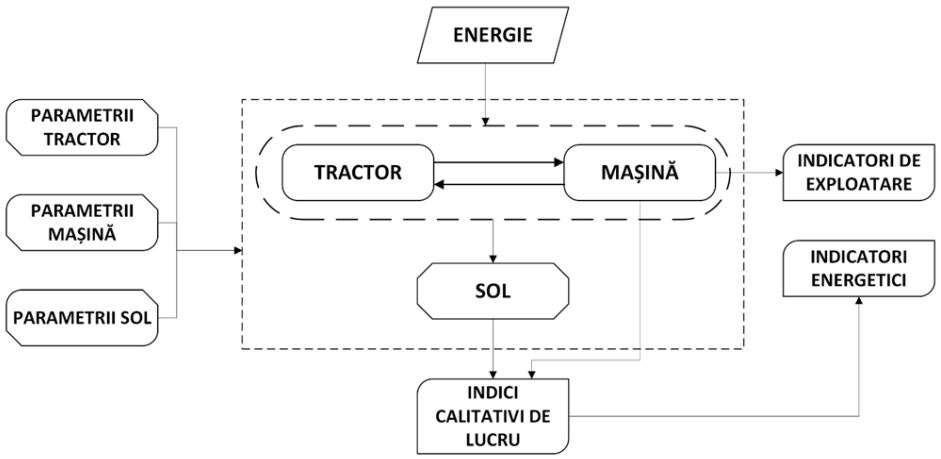


Figura 4.1. *Schema bloc a reprezentării sistemice pentru procesul de prelucrare mecanică a solului*

Forța rezistentă la deplasarea agregatelor agricole rezultă din frecarea roților cu suprafața solului, din frecarea axelor în lagărele roților și din deformarea solului de către roțile agregatului. Această forță este influențată de tipul și construcția roților motoare și de sprijin, de greutatea agregatului și de proprietățile solului pe care se deplasează. Pe solurile afânate, pe cele cu umiditate mare, pe cele denivelate, forța rezistentă la deplasare este mai mare decât în cazul deplasării pe soluri înțelenite cu suprafață netedă. Neuniformitatea suprafeței solului mărește rezistența la rulare din

cauza deformării suplimentare a solului, a devierii mașinilor din agregat de la direcția de înaintare și prin apariția unor forțe de inerție suplimentare (Șandru 1983).

Rezistența la tracțiune a mașinilor agricole ca și ceilalți parametri ai agregatului au un pronunțat caracter aleator. Asupra caracteristicilor de variație influențează o serie de factori dintre care cei mai importanți sunt: tipul solului, tasarea solului, umiditatea, neuniformitatea, textura și structura solului prelucrat, precum și unele variații care apar la roțile motoare și la punctele de articulație ale agregatului. Influența acestor factori este mai accentuată la agregatele cu tractoare puternice și la viteze mari de lucru (Ciulu și Bârcă 2002).

Variația rezistenței în lucru a mașinilor agricole conduce și la funcționarea motorului tractorului în regim instabil. Această variație, corelată cu coeficientul de încărcare a motorului, determină pierderi de putere de până la 10–15%. Regimul de încărcare a mașinilor din agregat conduce la procese dinamice aleatorii în toate elementele agregatului (Șandru 1983).

Caracterul aleator al momentului motor influențează la rândul său caracteristicile de tracțiune ale tractorului (Tecușan 1982). Se poate evidenția influența negativă asupra forței de aderență și asupra patinării roților motoare. La forțe de tracțiune egale, când dispersia valorii acesteia este mare, patinarea tractorului crește. Odată cu creșterea vitezei de lucru, rezistența în lucru a mașinilor agricole crește.

Este imperios necesară determinarea parametrilor de operare optimi pentru agregatele agricole destinate pregătirii patului germinativ care să asigure utilizarea în întregime a puterii motorului tractorului și folosirea agregatului la capacitatea maximă de lucru, respectiv, realizarea un bilanț de putere optimal (Dobrescu 1981, Lamarche 1991). În prezent, pentru aceasta, este posibilă utilizarea unor algoritmi de calcul analitic și numeric, implementabili pe tractoarele agricole moderne.

Agregatele agricole, în condițiile reale de lucru, sunt folosite în prezența unor factori de influență cu un pronunțat caracter aleator. Ca urmare majoritatea proceselor agregatelor agricole în condiții reale au caracter aleator (Șandru 1983). Aceste procese pot fi studiate – abstractizate - cu ajutorul teoriei proceselor aleatoare. Încercarea reproducerilor în condițiile date conduce la rezultate diferite. Ca urmare, numai probabilitatea desfășurării lor poate fi prevăzută (Târcolea 1989).

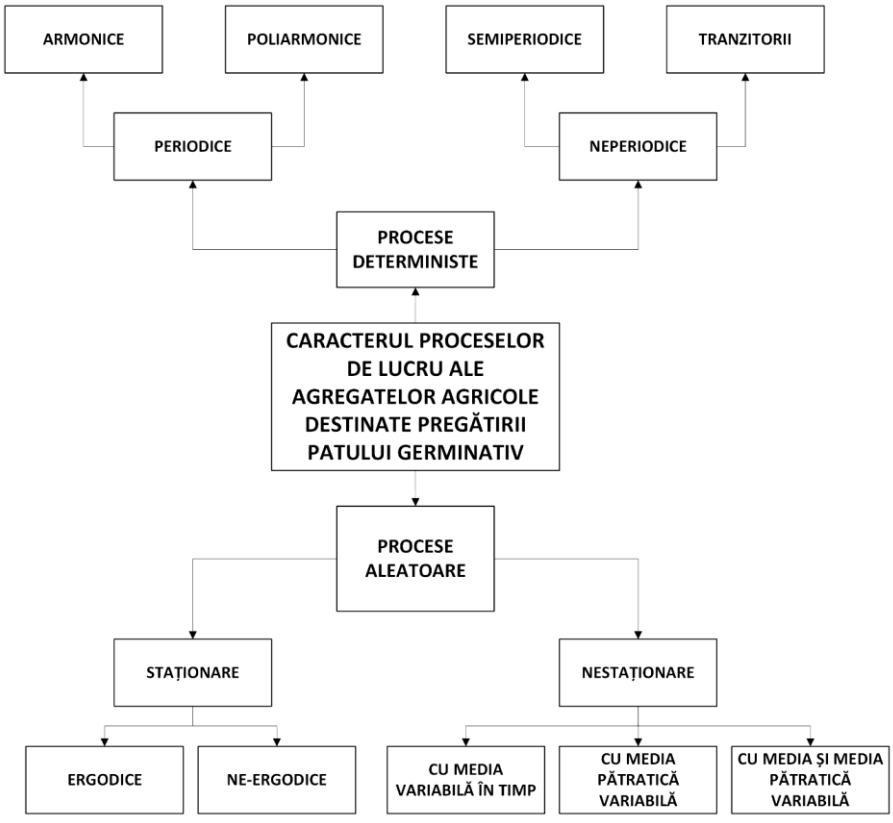


Figura 4.2. *Caracterul proceselor de lucru ale agregatelor agricole destinate pregătirii patului germinativ* (Dobrescu 1981)

În figura 4.2 este prezentată o clasificare a proceselor, atât deterministe cât și aleatoare, întâlnită la agregatele agricole. Procesele deterministe pot fi periodice și neperiodice. La rândul lor cele periodice pot fi armonice sau poliarmonice, iar cele neperiodice sunt în general procesele tranzitorii.

4.2. Exploatarea mașinilor agricole destinate pregătirii patului germinativ

Indicatorii pentru exploatarea sistemului agricol în vederea pregătirii patului germinativ reflectă eficiența modului de operare a acestuia. Analiza acestor indicatori este direct legată de studiul cinematicii sistemului agricol (Șandru 1983).

Indicatorii de exploatare ai sistemului agricol sunt valori numerice ce evaluează procesul de lucru și arată măsura în care mașinile respectă standardele tehnice generale (Boruz 2005, Ciulu și Bârcă 2002, Ciulu 2000, Koolen și Kuipers 1983, Marin 2011). Indicatorii pentru exploatarea mașinilor agricole utilizate pentru lucrul solului sunt reprezentați de:

- capacitatea de lucru;
- coeficienţii de folosire a timpului;
- drumul specific;
- coeficientul curselor de lucru.

4.3. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al mașinilor de pregătire a patului germinativ

Modelarea matematică a energeticii maşinilor de lucrat solul reprezintă stabilirea relaţiilor de calcul ale componentelor energiei necesare prelucrării solului şi analiza acestora, în scopul găsirii unor metode de reducere pentru consumurile de energie în cazul lucrărilor de pregătire a patului germinativ (Bodolan și Brătucu 2013, Şandru 1983).

4.3.1. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al echipamentelor pentru afânarea adâncă a solului

În cazul prelucrării solului utilizând subsolierul, energia este consumată în vederea tractării utilajului, tăierii, precum și dislocării porțiunii de sol, despicării solului ce a fost dislocat, precum și în vederea acoperirii pierderilor din transmisia mașinii, astfel (Brătucu 1999, Vlad 2013):

$$E_{subsoliere} = E_{deplasare} + E_{taiere,dislocare} + E_{despicare} + E_{pierderi} \quad [J] \qquad (4.1)$$

Lucrul mecanic specific reprezintă energia necesară pentru dislocarea unei unități de volum de sol. În cazul prelucrării solului folosind subsolierul, lucrul mecanic specific se calculează prin raportarea lucrului mecanic efectuat la volumul de sol dislocat pe o distanță parcursă, adică (Brătucu 2007):

$$L_{ss} = \frac{L_s}{V_{sol}} \quad [J] \qquad (4.2)$$

în care: L_s - lucrul mecanic realizat de către subsolier, măsurat în *J*; V_{sol} – volumul de sol dislocat de către subsolier, măsurat în m^3.

4.3.2. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al plugurilor

În prelucrarea solului cu plugul, energia se folosește pentru tracțiunea utilajului, pentru tăierea și desprinderea feliei de sol, precum și pentru aruncarea acesteia. Modelul matematic pentru calculul consumului energetic al plugului (Șandru 1983):

$$E_{arat} = f \cdot G_{plug} \cdot v_m \cdot t_{arat} + k \cdot a \cdot b \cdot v_m \cdot t_{arat} + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v_m^3 \cdot t_{arat} + E_{pierderi} \quad [W] \quad (4.3)$$

Relația (4.3) definește modelul matematic al consumului energetic al plugului, oferind date utile pentru optimizarea parametrilor mașinii pentru minimizarea consumului energetic.

Energia necesară pentru deplasarea maşinii, $E_{deplasare}$, se transformă în lucrul mecanic ce este necesar pentru tractarea maşinii şi pentru deformarea solului. Aceasta este direct proporţională cu greutatea G_{plug} a maşinii şi cu coeficientul rezistenţei la rulare f dintre roata de reglare a adâncimii de arat şi sol (Ciulu și Bârcă 2002):

$$E_{deplasare}=f(f,G_{plug}) \quad (4.4)$$

Pentru a reduce energia necesară tractării plugului, se acționează asupra celor două componente principale. Greutatea mașinii poate fi diminuată încă din proiectare, prin alegerea unor materiale mai ușoare și totodată rezistente la eforturi mecanice. Reducerea coeficientului de rezistenţă la rulare se poate obţine prin folosirea roţilor cu diametre şi lăţimi cât se poate de mari.

Energia necesară pentru operaţiile mecanice ale aratului serveşte la tăierea şi dislocarea brazdelor, la ridicarea solului dislocat pe suprafaţa cormanei şi la aruncarea lui spre lateral.

Energia necesară pentru tăierea și dislocarea brazdelor depinde de dimensiunile solului ce este dislocat și este direct proporțională cu adâncimea de lucru, lățimea trupiței și proprietățile fizico-mecanice ale solului (Căproiu 1982):

$$E_{taiere}=f(a,b,k) \quad (4.5)$$

Energia necesară pentru aruncarea feliei de sol depinde de dimensiunile acesteia, de dimensiunile și forma trupiței, precum și de proprietățile fizice ale solului prelucrat (Krasnicenko 1963 şi 1964).

$$E_{ridicare}=f(a,b,\varepsilon) \quad (4.6)$$

Suprafaţa de tăiere specifică reprezintă un parametru geometric al feliei de sol ce este dislocată. Este reprezentată de raportul dintre suprafaţa de tăiere a solului dislocat, S_t şi volumul acesteia, *V*. Se poate calcula utilizând ecuația (Vlad 2013):

$$S_{modelare}=\frac{S_t}{V}=\frac{(a+b)\cdot S}{a\cdot b\cdot S}=\frac{1}{b}+\frac{1}{a}\ [m^2/m^3] \quad (4.7)$$

în care: *S* este distanța parcursă de mașină, măsurată în m; *a* este adâncimea de lucru, măsurată în m; *b* este lățimea brăzdarului, măsurată în m.

Lucrul mecanic specific reprezintă energia necesară pentru dislocarea unității de volum a solului. În cazul prelucrării solului folosind plugul, lucrul mecanic specific se calculează prin raportarea lucrului mecanic efectuat pe distanța parcursă *S*, la volumul de sol dislocat pe acea distanță, astfel (Ciulu și Bârcă 2002):

$$L_s=\frac{L_{arat}}{V_{sol}}=\frac{E_{arat}}{a\cdot b\cdot S} \quad [J/m^3] \quad (4.8)$$

unde: L_{arat} - reprezintă lucrul mecanic efectuat de plug, măsurat în *J*; V_{sol} – reprezintă volumul de sol dislocat de plug, măsurat în m^3; E_{arat} – reprezintă energia necesară acţionării plugului, măsurată în *J*; *S* – reprezintă distanţa parcursă de maşină în timpul lucrării, măsurată în *m*.

Pentru un agregat format dintr-un tractor de 180 CP (A 1800-A) și un plug cu lățime de lucru variabilă cu 5 trupițe (PP5VM) destinat să efectueze lucrarea de arat pe terenuri plane sau în pantă de maximum 6º (Fig. 4.3.), bilanțul de putere și algoritmul de optimizare a energeticii agregatului este prezentat în continuare.



Figura 4.3. *Agregat de arat format din tractor de 180 CP și plug cu lățime de lucru variabilă cu 5 trupițe*

Scopul principal este acela de a determina principalii parametri de exploatare optimi ai unui agregat de arat format dintr-un tractor de 180 CP și un plug cu 5 trupițe, respectiv: *v*-viteza de lucru și *B*-lățimea de lucru, care să asigure utilizarea în întregime a puterii motorului tractorului și folosirea agregatului la capacitatea maximă de lucru. Așa după cum se poate vedea în continuare, ecuația bilanțului de putere poate fi folosită ca funcție scop în vederea optimizării bilanțului de putere.

Agregatul necesită putere pentru deplasare și putere pentru efectuarea lucrării de arat. Roțile motoare ale tractorului dezvoltă puterea necesară acționării agregatului. Ca restricție, se poate considera coeficientul de folosire a timpului de deplasare τ_d știind că nivelul acestuia este proporțional cu nivelul capacității de lucru a agregatului. Bilanțul de putere al unui agregat de arat se poate exprima cu relația (Dobrescu 1981):

$$P_M \cdot \tau_M = \frac{f_1 \cdot G \cdot v + f_v \cdot G \cdot v^2}{\eta_T \cdot (1-\delta_p)} + \frac{k \cdot a \cdot B \cdot v + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot v^3}{\eta_T \cdot (1-\delta_p)} \tag{4.9}$$

în care: P_M -este puterea dezvoltată de motor, (W); η_M -coeficientul de folosire a puterii motorului, η_p -randamentul transmisiei la priza de putere și la roțile motoare; f_1 -coeficient de proporționalitate; f_v -coeficient de creștere a rezistenței la deplasare datorită creșterii vitezei, (s/m); δ_p -patinarea tractorului; G -greutatea agregatului, (N); v -viteza de lucru (m/s); B -lățimea de lucru, (m); a -adâncimea de lucru, (m); k -rezistența la deformare și mărunțire a brazdei de sol, (N/m^2); ε -coeficient ce caracterizează forma cormanei și proprietățile solului, (N·s^2/m^4).

Dacă se consideră că între greutatea agregatului și lățimea de lucru există o legătură de forma $G_B = \alpha \cdot B$, unde α este greutatea specifică a agregatului pe lățimea de lucru, (N/m), funcția scop devine (Dobrescu 1981):

$$P_M \cdot \eta_M \cdot \eta_T \cdot (1-\delta_p) = f_1 \cdot \alpha \cdot B \cdot v + f_v \cdot \alpha \cdot B \cdot v^2 + k \cdot a \cdot B \cdot v + \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot v^3 \tag{4.10}$$

Parametrii optimi B și v sunt cei care asigură productivitatea maximă la nivelul puterii motorului. Deoarece productivitatea tehnică a agregatelor de arat este legată de nivelul coeficientului de folosire a timpului de deplasare τ_d, acesta, constituie restricția:

$$\frac{v_g \cdot L}{v_g \cdot L + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)} - \tau_d = 0 \tag{4.11}$$

Soluția optimă poate fi găsită cu ajutorul multiplicatorului lui Lagrange:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_M}{\partial v} + \lambda \cdot \frac{\partial \tau_d}{\partial v} = 0 \\ \frac{\partial P_M}{\partial B} + \lambda \cdot \frac{\partial \tau_d}{\partial B} = 0 \end{cases} \tag{4.12}$$

și restricția:

$$\frac{m}{m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)} - \tau_d = 0 \tag{4.13}$$

în care m și m_1 sunt parametrii de exploatare dependenți de viteza de deplasare în gol a agregatului (v_g), lungimea parcelei (L), lungimea parcursului în gol (S_g), lățimea parcelei (C), ($m = v_g \cdot L$, $m_1 = S_g^s / C$).

Termenii din sistemul de ecuații (4.12) se determină:

$$\frac{\partial P_M}{\partial v} = f_1 \cdot \alpha \cdot B + 2 \cdot f_v \cdot \alpha \cdot B \cdot v + k \cdot a \cdot B + 3 \cdot \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot v^2 \tag{4.14}$$

$$\frac{\partial P_M}{\partial B} = f_1 \cdot \alpha \cdot v + f_v \cdot \alpha \cdot v^2 + k \cdot a \cdot v + \varepsilon \cdot a \cdot v^3 \tag{4.15}$$

$$\frac{\partial \tau_d}{\partial v} = \frac{m \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)}{[m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)]^2} \tag{4.16}$$

$$\frac{\partial \tau_d}{\partial B} = \frac{m_1 \cdot m \cdot v}{[m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)]^2} \tag{4.17}$$

Se obține un sistem de trei ecuații cu trei necunoscute:

$$\begin{cases} f_1 \cdot \alpha \cdot B + 2 \cdot f_v \cdot \alpha \cdot B \cdot v + k \cdot a \cdot B + 3 \cdot \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot v^2 - \lambda \cdot \frac{m \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)}{[m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)]^2} = 0 \\ f_1 \cdot \alpha \cdot v + f_v \cdot \alpha \cdot v^2 + k \cdot a \cdot v + \varepsilon \cdot a \cdot v^3 - \lambda \cdot \frac{m_1 \cdot m \cdot v}{[m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)]^2} = 0 \\ \frac{m}{m + v \cdot (\Omega + m_1 \cdot B)} - \tau_d = 0 \end{cases} \tag{4.18}$$

Variabila λ se elimină prin egalizarea valorii acesteia din prima ecuație a sistemului (4.18), cu valoarea rezultată din cea de-a doua ecuație și se obține:

$$3\cdot v^2+2\cdot v\cdot\left[\frac{m\cdot(1-\tau_d)}{\tau_d\cdot\Omega}-\frac{\alpha\cdot f_v}{\varepsilon\cdot a}\right]+\frac{f_1\cdot(f_v\cdot\alpha+k\cdot a\cdot\Omega)}{\varepsilon\cdot\alpha\cdot\Omega}=0 \quad (4.19)$$

de unde:

$$v_{opt}=\frac{1}{3}\cdot\left[\frac{m\cdot(1-\tau_d)}{\tau_d\cdot\Omega}-\frac{\alpha\cdot f_v}{\varepsilon\cdot a}+\sqrt{\left(\frac{\alpha\cdot f_v}{\varepsilon\cdot a}\right)^2+\left(\frac{m\cdot(1-\tau_d)}{\tau_d\cdot\Omega}\right)^2+\frac{\alpha\cdot f_v\cdot m\cdot(1-\tau_d)}{\varepsilon\cdot a\cdot\tau_d\cdot\Omega}-\frac{3\cdot(\alpha\cdot f_1+k\cdot a)}{\varepsilon\cdot a}}\right] \quad (4.20)$$

Din cea de-a treia ecuație a sistemului (4.18) rezultă:

$$B_{opt}=\frac{m\cdot(1-\tau_d)-\tau_d\cdot\Omega\cdot v_{opt}}{\tau_d\cdot m_1\cdot v_{opt}} \quad (4.21)$$

Productivitatea agregatului este:

$$U_{\tau_d}=v_{opt}\cdot B_{opt}\cdot\tau_d \quad (4.22)$$

Puterea necesară acționării agregatului se calculează cu relația (Dobrescu 1981):

$$P_{min}=f_1\cdot\alpha\cdot B_{opt}\cdot v_{opt}+f_v\cdot v^2\cdot\alpha\cdot B_{opt}+B_{opt}\cdot v_{opt}\cdot a\cdot k+\varepsilon\cdot a\cdot B_{opt}\cdot v_{opt}^3 \quad (4.23)$$

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

m_1 = 45
m = 700
omega = 40

tau_d_values = [0.7, 0.71, 0.72, 0.73, 0.74, 0.75, 0.76, 0.77, 0.78]

v_opt = np.linspace(0.5, 2.5, 100)

plt.figure(figsize=(8, 6))

for tau_d in tau_d_values:
    B_opt = (m * (1 - tau_d) - tau_d * omega * v_opt) / (tau_d * m_1 * v_opt)
    # Filtrare pentru valorile B_opt în intervalul [0,8, 2]
    mask = (B_opt >= 0.8) & (B_opt <= 2)
    plt.plot(v_opt[mask], B_opt[mask], label=f"$\\tau_d = {tau_d}$")

plt.title("Graph of $B_{opt}$ vs $v_{opt}$ for Different $\\tau_d$")
plt.xlabel("$v_{opt}$ (m/s)")
plt.ylabel("$B_{opt}$ (m)")
plt.ylim(0.8, 2)
plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.8, linestyle='--')
plt.legend()
plt.grid()

plt.show()
```

a)

```python
%matplotlib notebook

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

m_1 = 45
m = 700
omega = 40

v_opt_values = np.linspace(0.5, 2.5, 50)  # v_opt între 0.5 și 2.5
tau_d_values = np.linspace(0.7, 0.9, 50)    # tau_d între 0.7 și 0.9

V_OPT, TAU_D = np.meshgrid(v_opt_values, tau_d_values)

B_OPT = (m * (1 - TAU_D) - TAU_D * omega * V_OPT) / (TAU_D * m_1 * V_OPT)

mask = (B_OPT >= 1) & (B_OPT <= 2)

fig = plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')

sc = ax.scatter(V_OPT[mask], TAU_D[mask], B_OPT[mask], c=B_OPT[mask], cmap='viridis', marker='o')

cbar = fig.colorbar(sc, ax=ax, shrink=0.5, aspect=10)
cbar.set_label("$B_{opt}$ (m)")

ax.set_title("3D Plot of $B_{opt}$ as function of $v_{opt}$ and $\\tau_d$")
ax.set_xlabel("$v_{opt}$ (m/s)")
ax.set_ylabel("$\\tau_d$")
ax.set_zlabel("$B_{opt}$ (m)")

ax.zaxis.label.set_rotation(90)

ax.view_init(elev=30, azim=140)  # ROTIRE PENTRU VIZUALIZARE DIFERITĂ

plt.tight_layout()

plt.show()
```

b)

Figura 4.4. *Cod Python pentru determinarea lățimii de lucru optime a unui plug cu 5 trupițe*

Puterea necesară pentru tractarea plugului în timpul procesului de arat se calculează (Gill și Vanden Berg 1968):

$$P_t = k_0 \cdot a \cdot B_l \cdot v_l \quad [\text{W}] \quad (4.24)$$

în care v_l -reprezintă viteza de lucru a agregatului de arat [m/s].

Consumul de energie pe unitatea de suprafață lucrată se calculează cu relația:

$$E_{ha} = \frac{P_t}{S_h} \quad [\text{Wh/ha}] \quad (4.25)$$

unde S_h -reprezintă capacitatea de lucru a agregatului de arat [ha/h]

Prin calcul analitic clasic, aplicând modelele matematice elaborate, pentru un agregat de arat care lucrează în condițiile date în prima coloană a tabelului 4.1, se obțin parametrii optimi ce se regăsesc în cea de-a doua coloană a aceluiași tabel.

Tabel 4.1. *Parametrii rezultați din calcul pentru un agregat de arat*

Condiții agregat de arat format din tractorul A-1800 A și plugul PSP-5 (35)	Parametrii agregatului de arat rezultați din calcul
greutatea tractorului: G_t*=97000 N* *greutatea plugului:* G_p*=30000 N* *greutatea agregatului:* $G=G_t+G_p=127000$ *N* $\tau_d=0.9$; $\Omega=40$; $m_1=10$; $k=35000$ *N/m*^{2}; $f_1=0.1$ $f_v=0.09$; $L=1000$ *m*; $v_g=0.5$ *m/s*; $a=0.25$ *m* $\varepsilon=3000$ N·s^2/m^4	**v_{opt}=2.03 m/s** **B_{opt}=1.5 m**

Utilizând algoritmii de calcul elaborați în capitolul 3 și codurile Python elaborate, s-au calculat și s-au trasat grafic valorile optime pentru lățimea totală de lucru a plugului (*Fig. 4.5.a*), precum și

varianta 3D a acestei dependențe de viteza de lucru și de coeficientul de folosire a timpului de deplasare (τ_d) (*Fig. 4.5.b*). În plus, în *Fig. 4.5.c* se prezintă graficul 3D al dependenței lățimii optime de lucru de viteza de lucru având valori ăn intervalul 0.5-2.5 m/s și de coeficientul de folosire a timpului de deplasare având valori în intervalul 0.7-0.9.

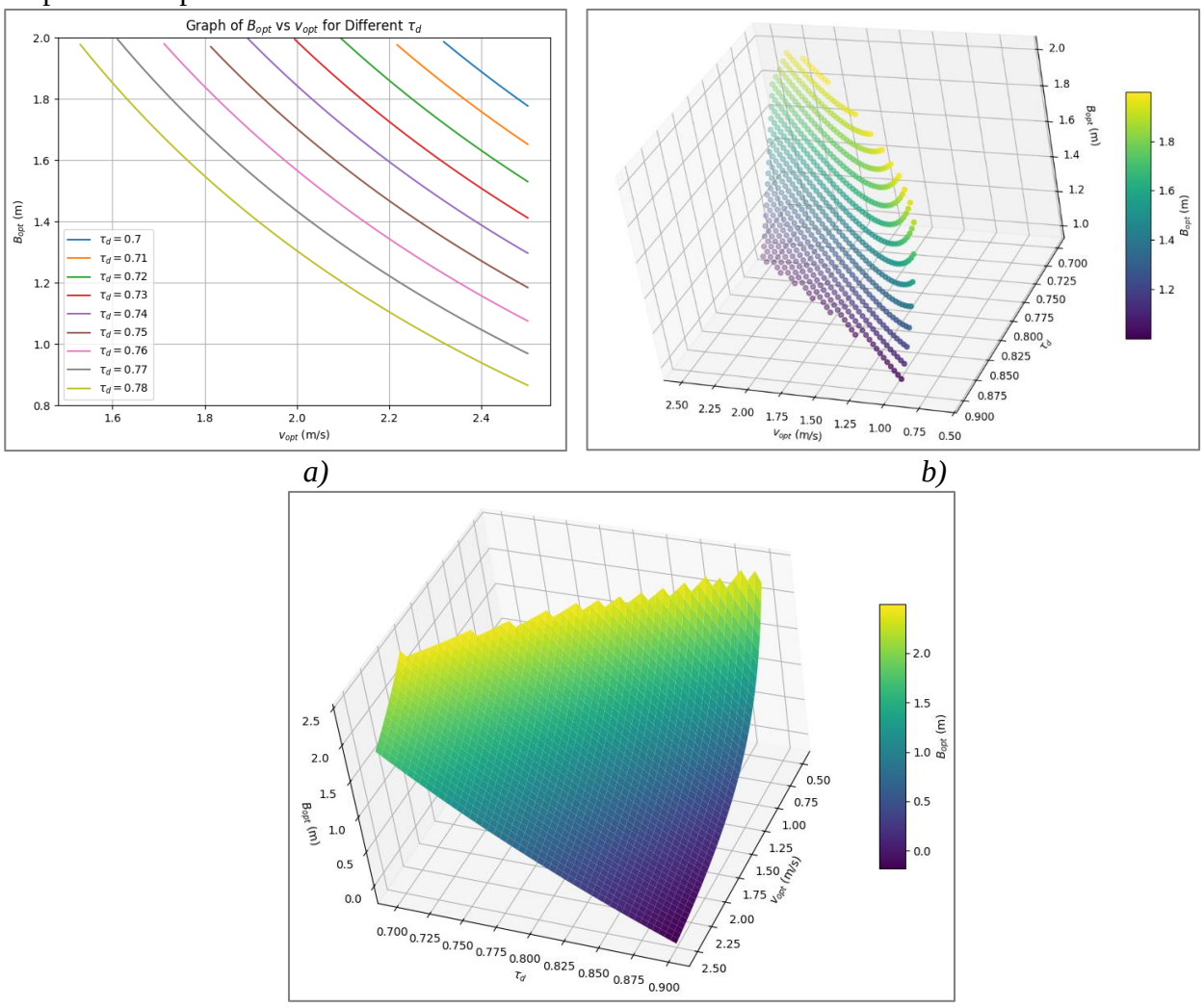


Figura 4.5. *Reprezentarea grafică a dependenței lățimii de arat optime în funcție de viteza de lucru și de coeficientul de folosire a timpului de deplasare pentru un plug cu 5 trupițe*

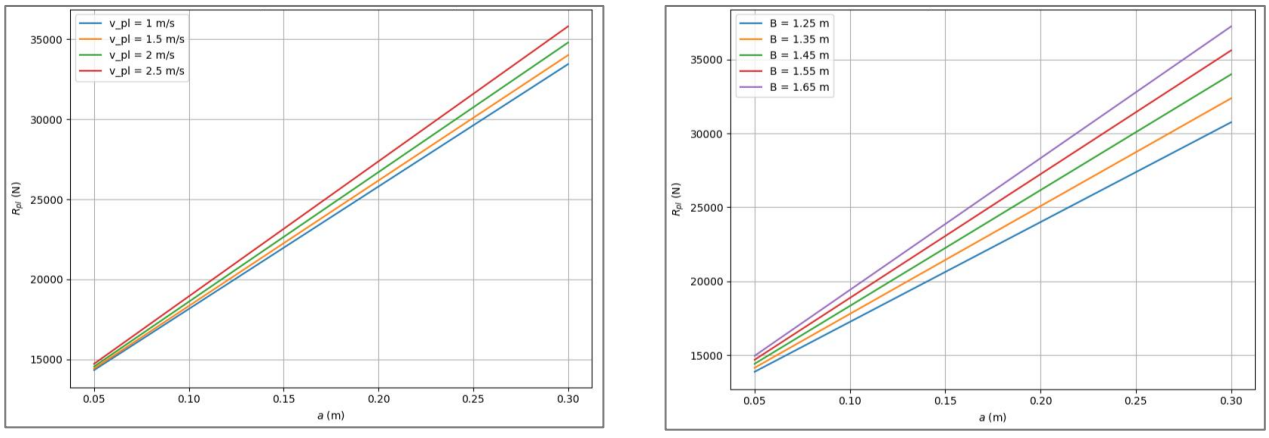
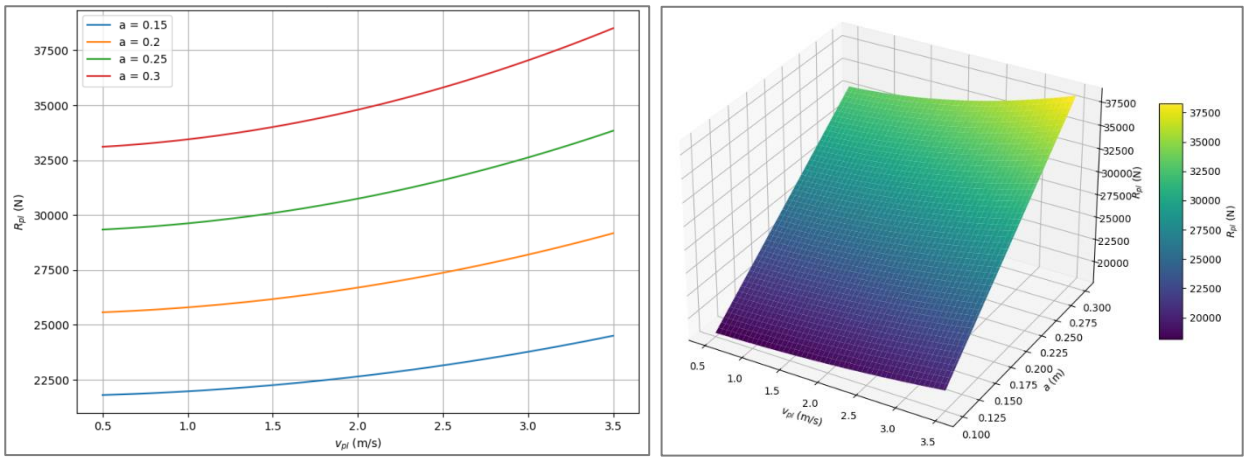
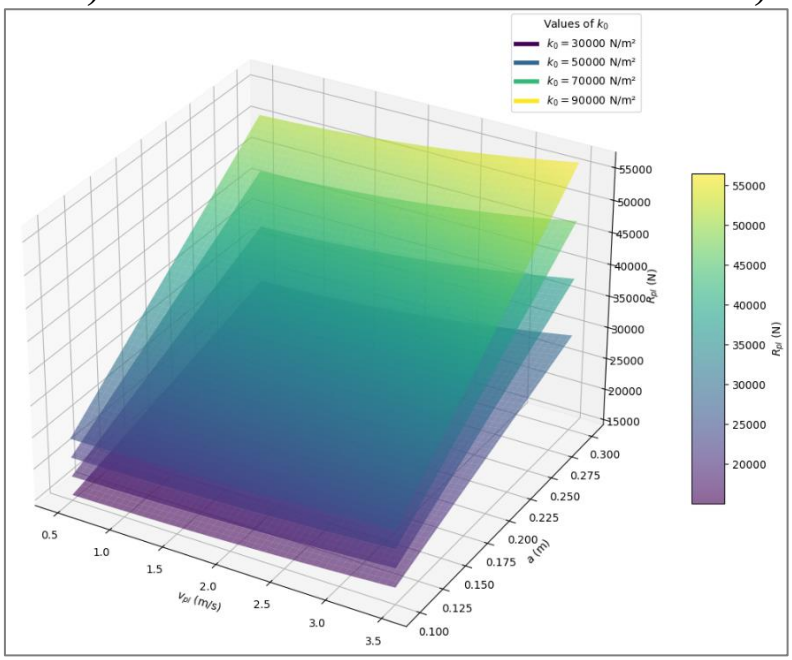


Figura 4.6. *Reprezentarea grafică a dependenței forței la tracțiune a unui plug cu 5 trupițe de adâncimea de lucru pentru diferite viteze de lucru și pentru diferite lățimi totale de lucru*

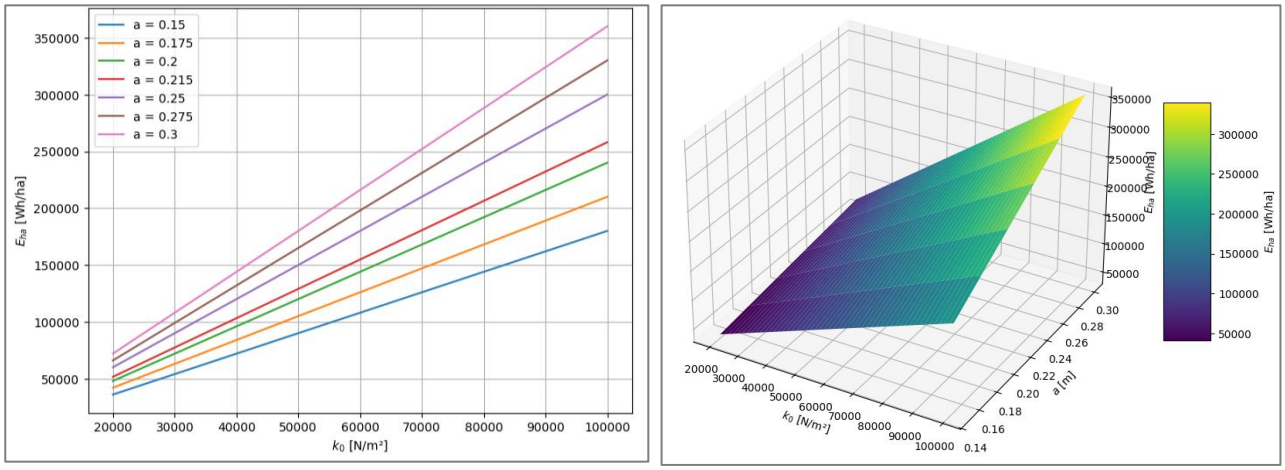


a) *b)*



c)

Figura 4.7. *Reprezentarea grafică a dependenței forței la tracțiune a unui plug cu 5 trupițe de viteza de lucru la diferite adâncimi de operare și diverse viteze de lucru*



a) *b)*

Figura 4.8. *Reprezentarea grafică a dependenței forței la tracțiune a unui plug cu 5 trupițe de viteza de lucru la diferite adâncimi de operare și diverse viteze de lucru*

Exploatarea optimală a agregatelor destinate efectuării lucrării de arat este esențială dacă se dorește o utilizare eficientă a resurselor și o reducere a costurilor. Utilizarea în întregime a puterii motorului tractorului și folosirea agregatului de arat la capacitatea maximă de lucru permite realizarea unui bilanț de putere optimal. Regimul de exploatare optimal poate fi determinat prin algoritmi de calcul numeric, pe baza multiplicatorilor lui Lagrange (subcapitolul 3.6.2), cu ajutorul unor programe de calcul (cod Python). Pentru obținerea productivității maxime la nivelul puterii motorului este necesară determinarea prin calcul a vitezei de lucru optime și a lățimii de lucru optime, în funcție de coeficientul de folosire a timpului de deplasare a agregatului de arat.

4.3.3. Realizarea de modele matematice pentru consumul energetic al echipamentelor pentru nivelarea solului

Energia consumată la prelucrarea solului folosind nivelatorul este utilizată în vederea deplasării utilajului, tăierii și dislocării feliei de sol, ridicării solului dislocat, deplasării prismei de antrenare și acoperirii pierderilor din transmisia mașinii. Energia totală ce este necesară pentru acţionarea nivelatoarelor se poate calcula utilizând ecuația (Constantinescu 2005):

$$E_{nivelare} = E_{deplasare} + E_{taiere} + E_{ridicare} + E_{prisma} + E_{pierderi} \quad [J] \qquad (4.26)$$

Lucrul mecanic specific reprezintă cantitatea de lucru mecanic necesară pentru dislocarea unei unități de volum de sol. În cazul prelucrării solului folosind nivelatorul, lucrul mecanic specific se calculează prin raportarea lucrului mecanic efectuat la distanța parcursă (S), la volumul de sol dislocat pe această distanță, astfel (Brătucu 2010):

$$L_s = \frac{L_n}{V_{sol}} = \frac{P_{niv} \cdot \tau}{a \cdot B \cdot S} \quad [J/m^3] \qquad (4.27)$$

unde: L_n - reprezintă lucrul mecanic efectuat de nivelator, măsurat în J; V_{sol} – reprezintă volumul de sol dislocat de nivelator, măsurat în m^3; P_{niv} - reprezintă puterea necesară pentru acţionarea nivelatorului, măsurată în W; τ – reprezintă timpul nivelării, măsurat în s; S – reprezintă distanţa parcursă în timpul nivelării, măsurată în m.

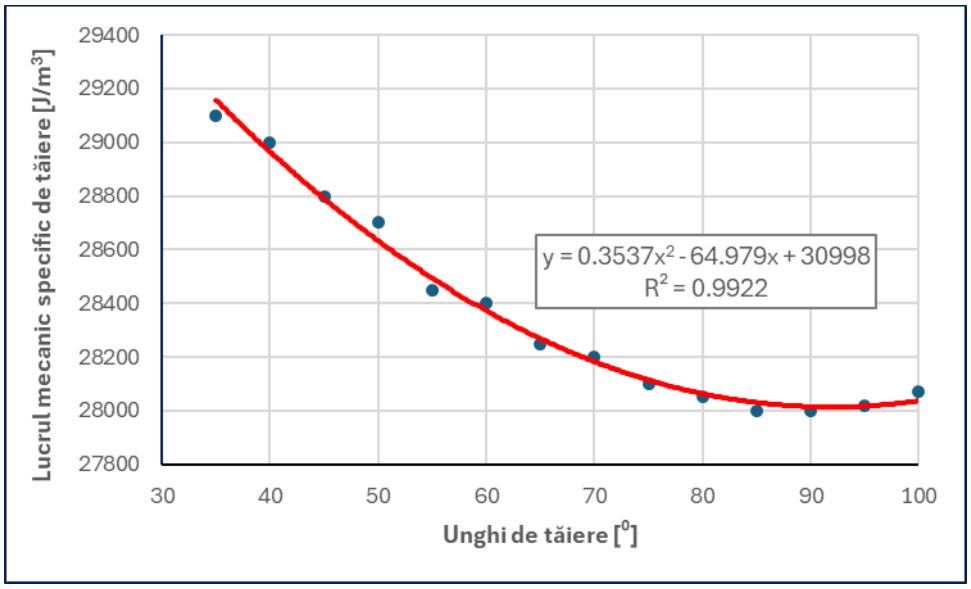


Figura 4.9. *Dependența lucrului mecanic specific de unghiul de tăiere al lamei la nivelare* (Vlad 2013)

Relația empirică ce rezultă din figura 4.9 și care stabilește legătura dintre lucrul mecanic specific la lucrarea solului cu nivelatorul și unghiul de tăiere a lamei este:

$$L = 0.3537 \cdot \alpha^2 - 64.979 \cdot \alpha + 30998 \quad [J/m^3] \qquad (4.28)$$

Figura 4.10. ilustrează variația lucrului mecanic specific luând în considerare adâncimea de lucru a nivelatorului, iar în ecuația (4.29) este prezentată relația empirică a acestei dependențe:

$$L = 22.571 \cdot a^2 - 1027.1 \cdot a + 36440 \quad [J/m^3] \qquad (4.29)$$

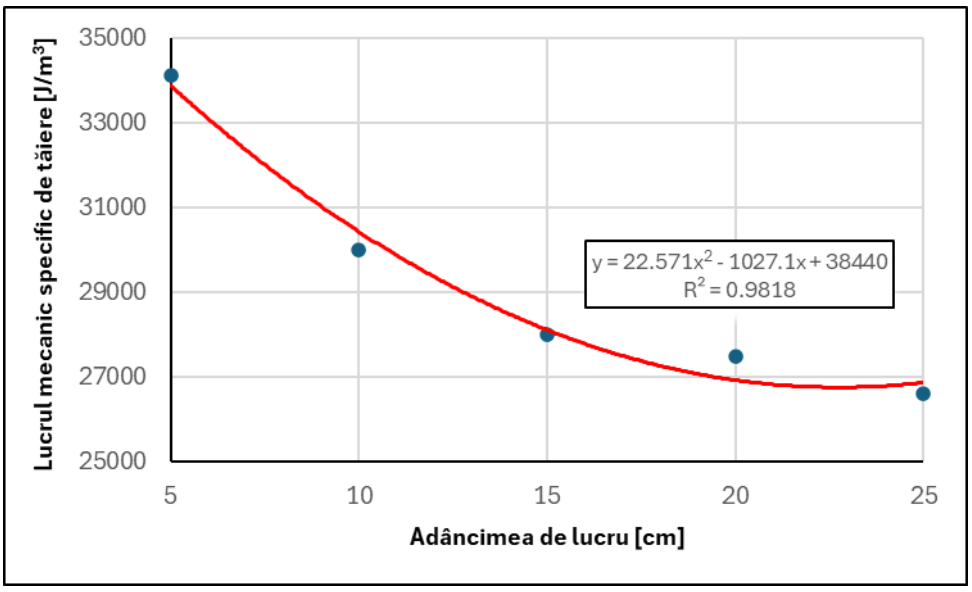


Figura 4.10. *Dependența lucrului mecanic specific de adâncimea de operare la nivelare* (Ciulu și Bârcă 2002)

Conform relației (4.29) și a diagramei prezentate pentru condițiile de lucru specifice, se observă că, pe măsură ce adâncimea de lucru crește, lucrul mecanic specific necesar prelucrării solului folosind nivelatorul scade. De asemenea, reglarea unghiului de tăiere al lamei la valori apropiate de 90° contribuie la reducerea lucrului mecanic specific al lucrării. Astfel, utilizarea nivelatorului este mai eficientă la adâncimi mai mari.

4.3.4. Modelarea matematică a consumului energetic al grapelor cu discuri

Asupra tractorului 4x2 (U-650) (Fig. 4.11), pe parcursul procesului de lucru intervin următoarele forțe: greutatea tractorului G, forța rezultantă datorită inerției R_{irez}, forța de rezistență la rulare R_r, momentele e rezistență la rulare M_{r1} și M_{r2}, forța motoare F_m, componentele F_t și R_z ale forței rezultante R transmise asupra tractorului din partea mașinii de lucru și reacțiunile Z_1 și Z_2 la cele două punți (față și spate). Se consideră că greutatea tractorului G este aplicată în centrul său de masă, definit de coordonatele a_c și h. Acțiunea mașinii de lucru asupra tractorului 4x2 se poate înlocui cu forța rezistentă la tracțiune a mașinii (paralelă cu suprafața solului) F_t și componenta normală la suprafața solului R_z. Punctul de aplicație al celor două forțe este definit de coordonatele l_t (în raport cu axa punții din spate) și h_t (în raport cu suprafața solului).

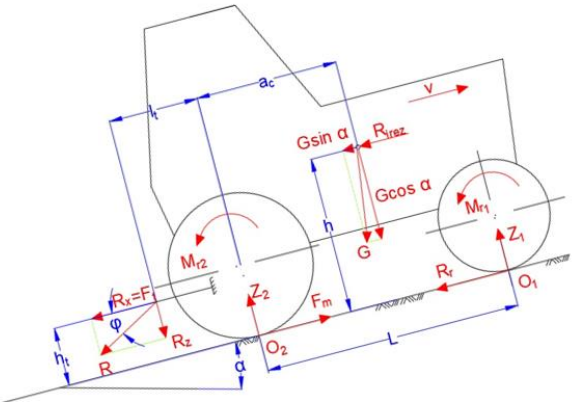


Figura 4.11. *Forțele ce acționează asupra unui tractor 4x2 cuplat cu o mașină remorcată sau semipurtată* (Șandru 1983)

În cazul agregatului format dintre un tractor 4x2 și o grapă semipurtată (Fig. 4.12), reacțiunile Z_1 și Z_2 se determină pe baza ecuațiilor de echilibru ale tractorului sub acțiunea forțelor exterioare, cu relațiile (Șandru 1983):

$$\begin{cases} Z_1 = [G \cdot a_c \cdot \cos\alpha - (G \cdot \sin\alpha + R_{irez}) \cdot h - F_t \cdot h_t - R_z \cdot l_t - M_r]/L \\ Z_2 = [G \cdot (L - a_c) \cdot \cos\alpha + (G \cdot \sin\alpha + R_{irez}) \cdot h + F_t \cdot h_t + R_z \cdot (L + l_t) + M_r]/L \end{cases} \quad (4.30)$$

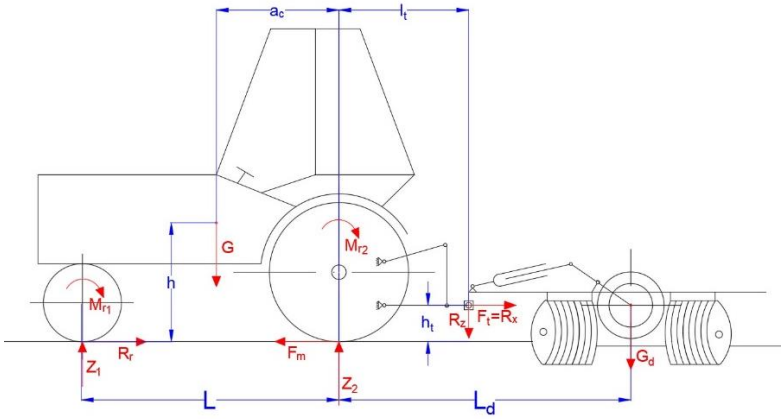


Figura. 4.12. *Forțele ce acționează asupra unui tractor 4x2 cuplat cu o grapă cu discuri semipurtată, în procesul de lucru*

Sarcina totală Z_t care acționează asupra punților tractorului este dată de suma reacțiunilor pe cele două punți, respectiv:

$$Z_t = Z_1 + Z_2 = G \cdot \cos\alpha + R_z \quad (4.31)$$

Expresia momentului de rezistență la rulare M_r din sistemul de ecuații (4.73) se determină ca sumă a momentelor rezistente la rulare pe cele două punți:

$$M_r = M_{r1} + M_{r2} = f_{r1} \cdot Z_1 + f_{r2} \cdot Z_2 \cong f_{r2} \cdot (Z_1 + Z_2) = f_{r2} \cdot Z_t = r_2 \cdot R_r \quad (4.32)$$

în care R_r este rezistența totală la rulare a tractorului:

$$R_r = f \cdot Z_t \quad (4.33)$$

Dacă se neglijează momentul M_r care are valori mici și considerând că tractorul se deplasează pe teren orizontal cu viteză constantă, calculul reacțiunilor Z_1, Z_2 și Z_t se face cu relațiile:

$$Z_1 = \frac{G \cdot a_c}{L} - \frac{F_t \cdot h_t + R_z \cdot l_t}{L} \quad (4.34)$$

$$Z_2 = \frac{G \cdot (L - a_c)}{L} + \frac{F_t \cdot h_t + R_z \cdot (L + l_t)}{L} \quad (4.35)$$

$$Z_t = Z_1 + Z_2 = G + R_z \quad (4.36)$$

În cazul unui agregat format dintr-un tractor 4x2 (U-650) și o grapă cu discuri purtată (Fig. 4.13), în timpul procesului de lucru, pe teren orizontal, reacțiunile normale pe cele două punți ale tractorului și sarcina totală se calculează cu relațiile:

$$Z_1 = \frac{G \cdot a_c}{L} - \frac{G_d \cdot l_m + F_z \cdot l_r - F_x \cdot h_r}{L} \quad (4.37)$$

$$Z_2 = \frac{G \cdot (L - a_c)}{L} + \frac{G_d \cdot (L + l_m) + F_z \cdot (L + l_r) - F_x \cdot h_r}{L} \quad (4.38)$$

$$Z_t = Z_1 + Z_2 = G + G_d + F_z \quad (4.39)$$

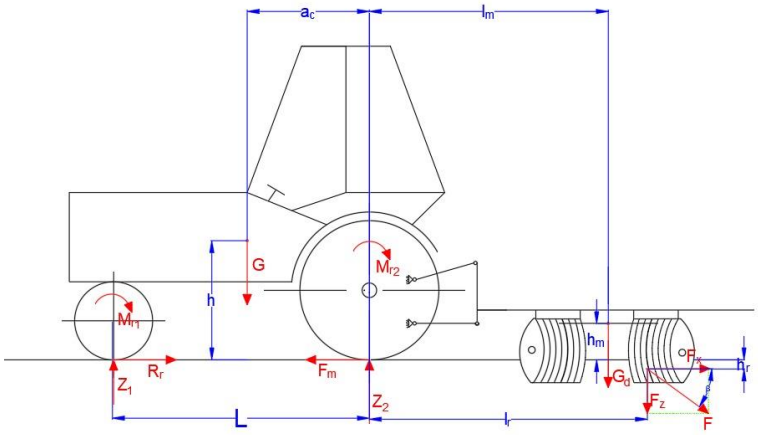


Figura 4.13. *Forțele ce acționează asupra unui tractor 4x2 cuplat cu o grapă cu discuri purtată, în procesul de lucru*

Ecuația bilanțului de tracțiune al unui tractor în agregat cu o mașină agricolă în procesul de lucru pe teren orizontal este (Năstăsoiu 1983):

$$F_t = F_m - R_r \tag{4.40}$$

în care F_m -reprezintă forța motoare (forța tangențială de tracțiune), R_r -forța rezistentă la rulare, iar F_t -forța de tracțiune.

Pentru calea de rulare de tip arătură așezată pe care lucrează tractorul în agregat cu grapa cu discuri coeficientul de utilizare a greutății aderente φ_m=0.4÷0.6. Așadar, rezultă expresia forței motoare în funcție de sarcina verticală pe puntea motoare:

$$F_m = \varphi_m \cdot Z_m \tag{4.41}$$

Forța rezistentă la rulare a tractorului agricol se calculează cu relația:

$$R_r = f \cdot (Z_1 + Z_2) \tag{4.42}$$

în care: f -reprezintă coeficientul de rezistență la rulare a tractorului (f=0.12-0.14 -pentru teren de tip arătură așezată), iar Z_1 și Z_2 -reacțiunile la cele două punți (față și spate).

Reacțiunile Z_1 și Z_2 sunt dependente de greutatea tractorului G, de greutatea grapei cu discuri G_d, de coordonatele centrelor de greutate ale tractorului și ale grapei cu discuri, de ampatamentul tractorului, precum și de forța de tracțiune F_t.

Patinarea roților motoare depinde de mărimea forței de tracțiune F_t, de sarcina pe roata motoare Z_m, de tipul și starea căii de rulare, de forma și de dimensiunile pneului. În figura 4.14 este prezentată caracteristica de patinare a tractorului U-650 pe ogor, pentru care a fost dedusă și o ecuație de regresie printr-o funcție de interpolare de gradul 2 ce stabilește dependența de forța de tracțiune a patinării roților motoare. Pentru o exploatare corespunzătoare a agregatului tractor-mașină agricolă, se recomandă ca patinarea roților motoare să fie cuprinsă în intervalul 10-20% (Tecușan 1982). Așadar, așa cum rezultă din figura 4.18, pentru tractorul U-650 pe teren de tip ogor, forța de tracțiune are valori recomandate în intervalul 8.3-10.6 kN.

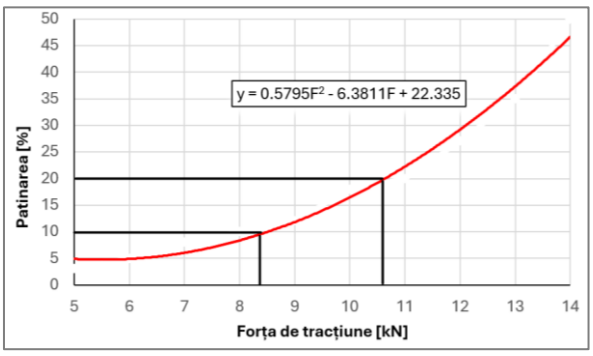


Figura 4.14. *Caracteristica de patinare a tractorului U-650 pe ogor* (Tecușan 1982)

Pentru a deplasa mașina agricolă (în cazul de față grapa cu discuri semipurtată), valoarea forței de tracțiune a tractorului trebuie să fie mai mare decât forța rezistentă rezultată în procesul de lucru al grapei, care se poate calcula cu relația (Şandru 1983, Năstăsoiu 1983):

$$R_x = K_s \cdot B_l \tag{4.43}$$

în care: K_s -reprezintă rezistența specifică pe unitatea de lățime de lucru la prelucrarea solului utilizând grapa cu discuri, (N/m); B_l -lățimea de lucru a grapei cu discuri, (m). Pentru grapele cu discuri netede, rezistența specifică are valori K_s=2÷3.25 kN/m (Năstăsoiu 1983). În cazul grapelor cu discuri purtate, rezistența specifică K_s este cu 15÷20% mai mică în comparație ca cea din cazul utilajelor remorcate sau semitractate (Năstăsoiu 1983).

Având în vedere importanța rezistenței specifice pe unitatea de lățime de lucru la prelucrarea solului utilizând grapa cu discuri semipurtată și a faptului că aceasta se diminuează cu 20 % în cazul grapei purtate (Năstăsoiu 1983), s-a realizat un cod Python care permite calculul și trasarea comparativă a curbelor de variație a forței rezistente R_x, pentru cele două variante de cuplare a grapei cu discuri (semipurtată -curba albastră și purtată -curba portocalie), în funcție de K_s (Figura 4.15).

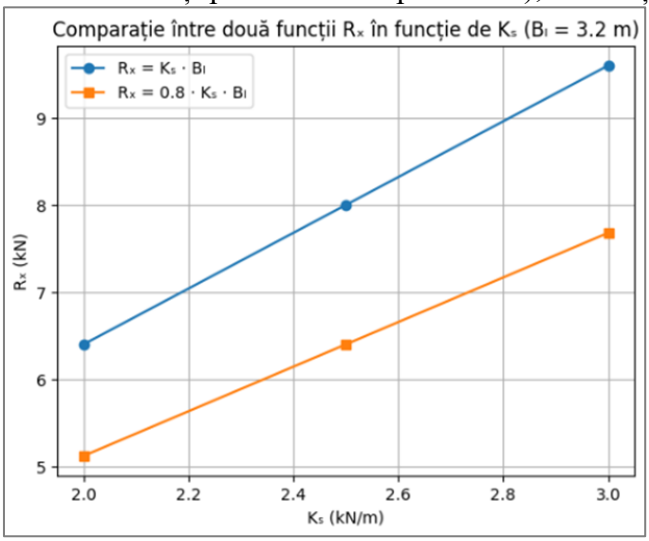


Figura 4.15. *Variația forței rezistente R_x în funcție de K_s*

Pe baza relațiilor (4.34), (4.35), (4.37) și (4.38) s-a realizat un cod Python care permite calculul reacțiunilor normale pe cele două punți ale tractorului U-650, în cazul celor două variante de cuplare a grapei cu discuri: semipurtată (Z_{11} și Z_{12}), purtată (Z_{21} și Z_{22}), iar în figurile de mai jos se prezintă variația grafică a acestor reacțiuni în funcție de rezistența specifică pe unitatea de lățime de lucru la prelucrarea solului utilizând grapa cu discuri K_s.

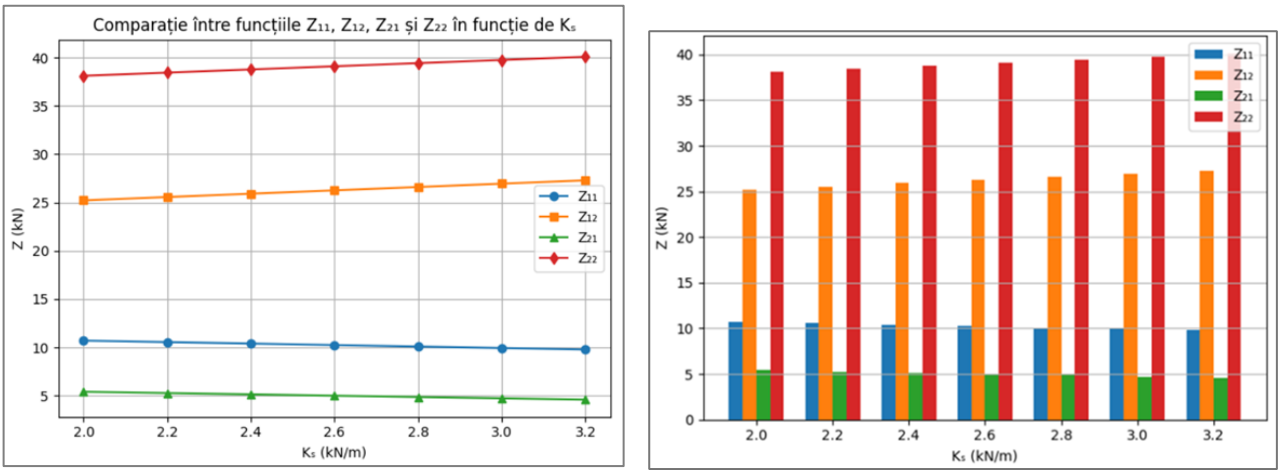


Figura 4.16. *Variația reacțiunilor normale pe cele două punți ale tractorului U-650 în funcție de K_s*

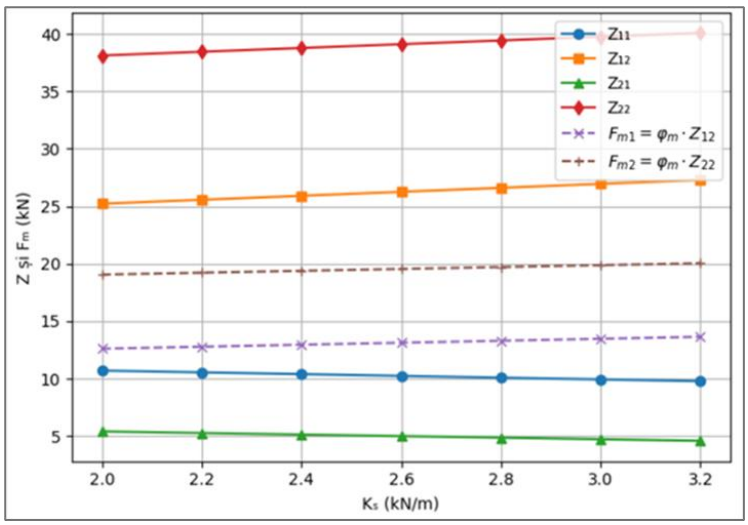


Figura 4.17. *Variația reacțiunilor normale și a forței motoare a tractorului U-650 în funcție de K_s*

Pentru calculul forței de tracțiune a tractorului U-650 în agregat cu o grapă cu discuri semipurtată, respectiv în agregat cu o grapă cu discuri tractată, în funcție de condițiile solului și de secțiunea în plan transversal a brazdei de sol prelucrate la o trecere, precum și pentru trasarea grafică comparativă, s-a realizat un cod Python, iar reprezentarea grafică este ilustrată în figura 4.18.

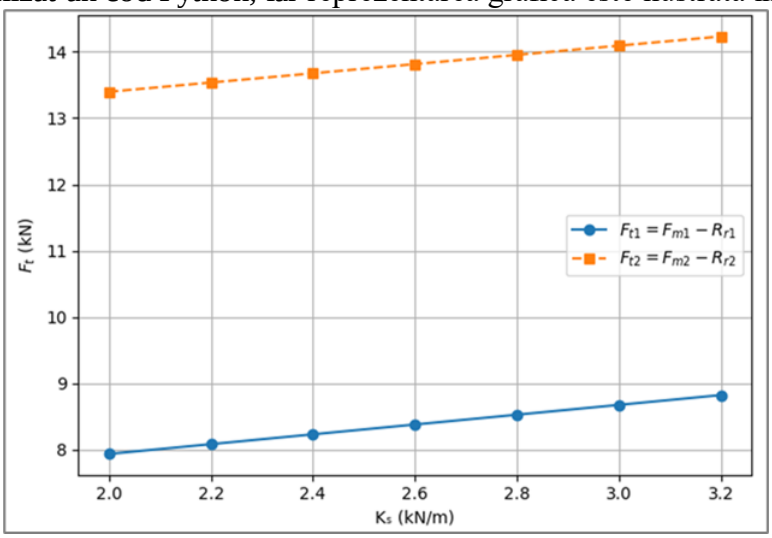


Figura 4.18. *Variația forței de tracțiune a tractorului U-650 în funcție de K_s pentru cele două variante de cuplare a grapei cu discuri (semipurtată F_{t1} și purtată F_{t2})*

Din încercările experimentale efectuate, care vor fi prezentate în capitolul următor, a rezultat o reducere a consumului de combustibil de 11-14 % în cazul cuplării grapei cu discuri în variantă purtată.

Capitolul 5 ERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND DETERMINAREA REGIMULUI DE LUCRU OPTIMAL AL MAȘINILOR AGRICOLE DE PREGĂTIRE A PATULUI GERMINATIV

5.1. Considerații generale privind cercetarea experimentală

Cercetarea experimentală presupune măsurarea unor mărimi mecanice, fizice, sau de altă natură, utilizând echipamente și instrumente de măsurare potrivite. Se determină principalii indicatori statistici, printre care: dispersia, suma pătratelor abaterilor, media aritmetică, abaterea standard, precum și coeficientul de variație (Rus 1987, CIGR Handbook of Agricultural Engineering 1999, Rumșiski 1974, Păunescu și David 1999, Md-Tahir, și alții 2021).

5.2. Obiectivele cercetărilor experimentale

Scopul principal *al cercetărilor experimentale prezentate în această teză de doctorat a fost optimizarea consumului energetic în cadrul echipamentelor și lucrărilor utilizate pentru pregătirea patului germinativ în cultura mare și validarea experimentală a algoritmilor de calcul elaborați.*

Pentru atingerea obiectivului principal al cercetării experimentale, a fost necesar să se parcurgă o serie de etape și să se rezolve mai multe obiective secundare, și anume:

- Selectarea corectă și concretă a obiectului cercetării experimentale;
- Stabilirea unei metodologii riguroase pentru studiul consumului de energie al utilajelor folosite în cazul pregătirii patului germinativ, asigurându-se astfel validitatea rezultatelor obținute în cadrul cercetării teoretice;
- Monitorizarea caracteristicilor fizice și fizico-mecanice ale solurilor cercetate;
- Determinarea unor indicatori de exploatare ai utilajelor utilizate pentru pregătirea patului germinativ;
- Calcularea indicatorilor energetici ai echipamentelor folosite în procesul de pregătire a patului germinativ;
- Măsurarea indicilor calitativi specifici pentru lucrările de pregătire a patului germinativ;
- Compararea indicatorilor energetici obținuți teoretic cu cei determinați experimental.

5.3. Metodologia cercetărilor experimentale

Pe baza studiului teoretic detaliat al energeticii procesului pentru pregătirea patului germinativ, au fost dezvoltate modelele matematice necesare în vederea stabilirii interdependenței existentă între diverși parametri ai proceselor tehnice implicate și consumul de energie al lucrărilor din tehnologia prelucrării patului germinativ.

Modelul matematic al consumului total de energie este elaborat folosind modelul dinamic al sistemului agricol ilustrat în figura 5.1. Acesta constă într-o serie de ecuații ce evidențiază modul în care variabilele sistemului interacționează între ele.

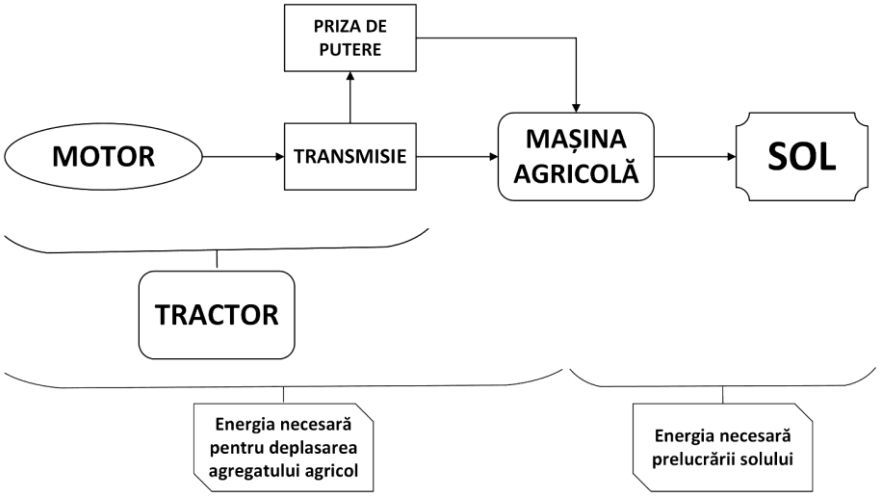


Figura 5.1. *Modelul dinamic și energetic al agregatului agricol* (Vlad 2013)

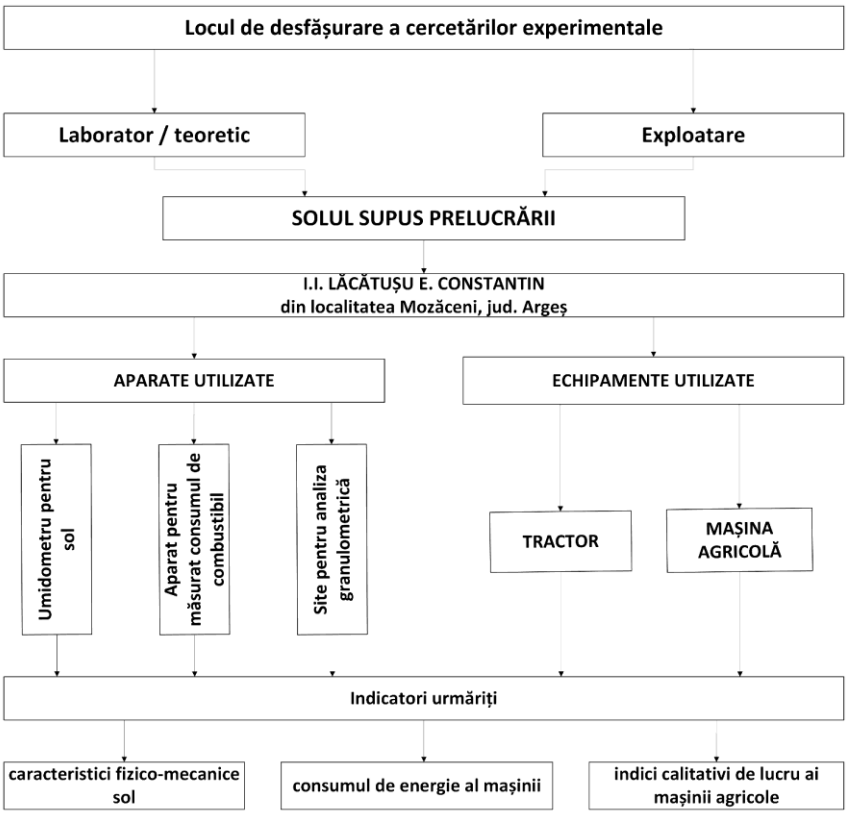


Figura 5.2. *Metodica generală a cercetărilor experimentale*

Pentru atingerea obiectivelor cercetărilor experimentale, a fost elaborată și implementată metodologia generală, care este ilustrată în figura 5.2.

5.4. Instalarea echipamentului de măsurare pe tractor

Pentru a asigura corectitudinea experimentelor, dispozitivele de măsurare și aparatura au fost supuse verificărilor în laboratoare acreditate. S-a verificat și perioada de valabilitate indicată pe etichetele acestora. Aparatele utilizate în determinările experimentale au fost:

• aparatul utilizat pentru măsurarea consumului de combustibil;

• aparatele utilizate pentru a măsura caracteristicile fizico-mecanice ale solurilor studiate, precum: setul de site granulometrice; umidometrul etc.

• aparate utilizate pentru măsurarea indicilor calitativi ai lucrărilor de pregătire a patului germinativ.



Figura 5.3. *Aparat EDM 1404 de măsurare a consumului de combustibil*

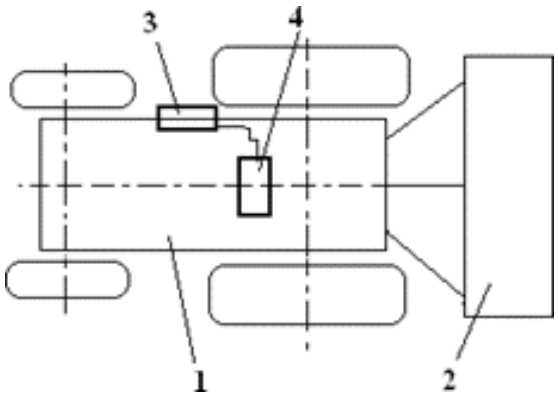


Figura 5.4. *Schema de instalare a echipamentelor de măsurare pe tractor*

(Vlad 2013)

5.5. Cercetări experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al plugurilor

Agregatele de arat ocupa locul întâi în ceea ce privește consumul de energie în tehnologiile de cultură a plantelor, circa 30-35% din totalul consumului de motorină revenind acestor agregate (Șandru 1983). În energetica procesului de arat se găsesc implicați factori ce țin de soluțiile constructive ale tractorului și plugului, condițiile de mediu, proprietățile fizico-mecanice ale solului și regimurile de exploatare alese (Gill și Vanden Berg 1968, Căproiu Șt. 1982, Șandru 1983). O parte din acești factori sunt obiectivi și nu pot fi modificați după dorință în exploatare, alți factori au influențe nesemnificative dar există multe caracteristici ale agregatului care pot și trebuie să fie alese corespunzător pentru obținerea unui bilanț energetic optim (Dobrescu 1981, Upadhyay și Raheman 2020).

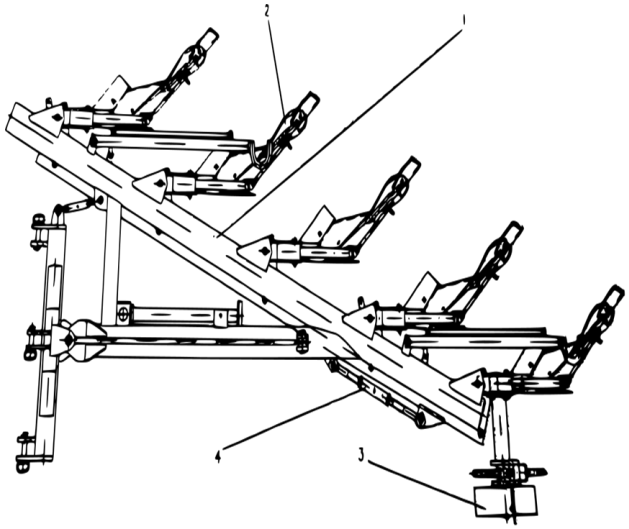


Figura 5.5. *Plug purtat cu lățime de lucru variabilă pentru tractor de mare putere PP5VM* (S.C. MAT S.A. 1987)

Pentru efectuarea lucrării de arat a fost utilizat plugul purtat cu lățime de lucru variabilă pentru tractoare de mare putere (Figura 5.5), care este destinat să execute arături pe teren șes sau cu pantă de până la 6°, pe toate tipurile de sol, la adâncimea maxima de lucru de 30 cm. Plugul lucrează în agregat cu tractoarele de 180-240 CP pe roți prevăzute cu mecanism de suspendare categoria a III-a SR ISO 730-1+C1.

Încercările în condiții de exploatare a agregatului de arat compus din tractorul A 1800-A și plugul PP5VM s-au efectuat în perioada 15.11.2021-10.12.2021. Încercările plugului cu cinci trupițe cu lățime variabilă PP5VM s-au efectuat în conformitate cu procedurile specifice de încercare PSpl-01.00.32 "*Încercarea plugurilor cu cormană*" și PSpl-01.00.33 "*Determinarea indicilor energetici pentru agregatele agricole*". Încercările plugului în condiții de exploatare în câmp s-au efectuat pe terenurile fermei proprietate personală ale I.I. LĂCĂTUȘU E. CONSTANTIN din localitatea Mozăceni, județul Argeș în conformitate cu procedurile specifice de încercare aflate în vigoare.

Pentru determinarea indicilor calitativi de lucru în conformitate cu procedurile în vigoare emise de INMA (INMA-DI 2008, INMA-DI 2008) (PSpl-01.00.32 și PSpl-01.00.33), s-au utilizat următoarele aparate și echipamente de măsură și control: cronometru mecanic, precizia de măsurare +/-0,1 secunde; ruletă de 15 m, clasa de precizie 2; ruletă de 2 m, clasa de precizie 2; aparat pentru determinarea consumului de combustibil, domeniul de determinare 0-480 ml; balanță electronică METTLER PM6000, domeniul de măsurare 0-6 kg, precizia de măsurare +/-0,1 g; cântar mecanic, domeniul de măsurare 0-150 kg; jaloane, țăruși; set de site cu orificii circulare de 100, 80, 50, 40, 20 mm; brazdometru; ramă metrică; capsule pentru probe de umiditate.

Condițiile de încercare Încercările de exploatare în câmp s-au efectuat în următoarele condiții: tipul solului: brun-roșcat cu textură luto-argiloasă; cultura anterioară: grâu recoltat mecanic, paiele fiind balotate și transportate imediat după recoltare; înălțimea resturilor vegetale: 15 cm; masa resturilor vegetale: 70 g/m²; umiditatea solului la adâncimea de 25-30 cm: 18%

Tabelul 5.1. *Indicii calitativi ai lucrării de arat efectuată cu agregatul format din tractorul A-1800A și plugul PP5VM pe sol brun-roșcat cu umiditate medie de 18% în stratul arat*

Lățimea de lucru pe trupiță b_t(cm)	Viteza de lucru efectivă V_e(Km/h)	Adâncimea medie de lucru a_m(cm)	Abaterea maximă de la a_m $\pm\Delta_a$(cm)	Abaterea standard σ_a(cm)	Inconstanța adâncimii de lucru V_a(%)	Lățimea medie de lucru B_m(cm)	Abaterea standard σ_B(cm)	Inconstanța lățimii de lucru V_B(%)	Gradul de mărunțire a solului G_{ms}(%)	Gradul de acoperire al resturilor vegetale G_v(%)
30	8,04	19,7	2,4 3,6	1,88	6,65	156	11,8	5,49	85,8	85,6
	7,85	25,1	1,8 3,2	1,77	6,23	154	12,3	4,83	83,4	89,3
	7,38	29,7	1,7 2,9	1,73	5,95	153	11,5	4,39	80,2	93,4
35	7,87	20,1	2,1 3,2	1,85	6,53	186	10,9	5,93	84,3	88,6
	7,45	24,9	1,8 3,1	1,79	6,11	182	11,2	5,22	82,4	91,5
	6,83	30,2	2,2 3,3	1,76	5,84	181	10,5	4,11	80,3	94,3
40	7,42	19,9	2,3 3,7	1,89	6,66	220	11,6	6,08	82,3	94,3
	6,36	24,8	1,9 4,1	1,78	6,13	211	11,4	5,45	81,6	94,6
	5,42	30,1	2,4 3,6	1,83	5,81	215	11,3	4,77	79,8	95,2
45	7,01	20,2	2,5 3,8	1,92	6,84	243	12,6	6,37	79,6	96,5
	6,17	25,3	2,2 4,2	1,83	6,45	241	12,8	5,85	78,9	96,8
	5,14	29,6	2,7 4,5	1,87	5,98	234	12,5	5,32	78,3	95,9

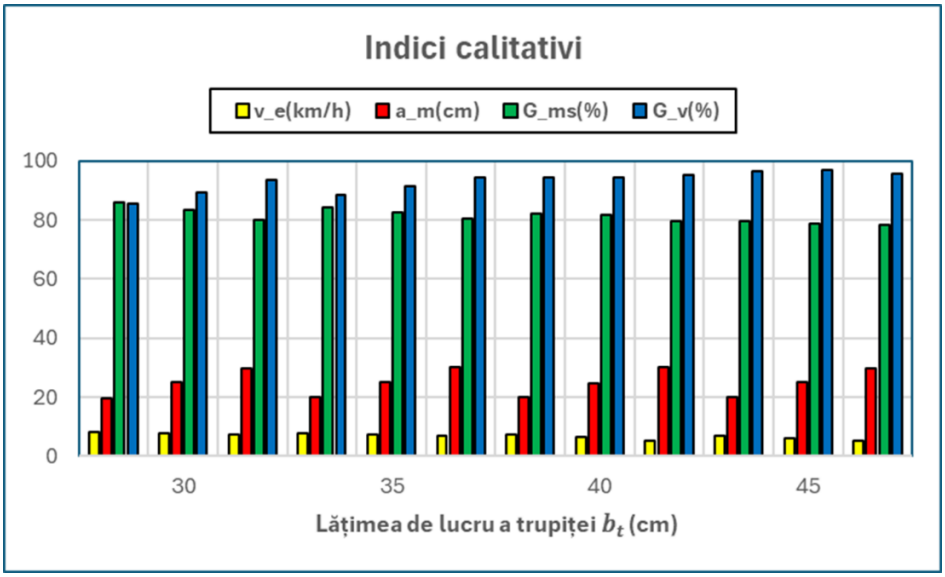


Figura 5.6. *Indicii calitativi ai lucrării de arat efectuată cu agregatul format din tractorul A 1800-A și plug PP5VM pe sol brun-roșcat cu umiditate medie de 18 % în stratul de arat*

Tabelul 5.2. *Indicii energetici ai agregatului format din tractorul A-1800A și plugul PP5VM pe sol brun-roșcat cu umiditate medie de 18% în stratul arat*

	Indicii regimului de lucru			Indicii caracteristici pentru aderență, dinamică și energetici			Indicii de productivitate si consum	
Lățimea de lucru pe trupiță b_t(cm)	Adâncimea medie de lucru a_m(cm)	Lățimea medie de lucru B_m(cm)	Treapta de viteză	Patinarea medie δ(%)	Viteza de lucru efectivă V_e(Km/h)	Consumul orar de conbustibil q (l/h)	Capacitatea de lucru la timpul efectiv W_{ef}(ha/h)	Consumul specific de combustibil Q(l/ha)
30	19,7	156	VI	11,8	8,04	29,53	1,254	23,54
	25,1	154	V	11,7	7,85	29,57	1,209	24,45
	29,7	153	V	12,1	7,38	30,15	1,129	26,70
35	20,1	186	V	11,9	7,87	29,85	1,464	20,39
	24,9	182	V	12,2	7,45	31,18	1,356	22,99
	30,2	181	IV	12,3	6,83	31,79	1,236	25,72
40	19,9	220	V	12,8	7,42	30,12	1,632	18,45
	24,8	211	IV	13,1	6,36	31,97	1,342	23,82
	30,1	215	III	13,5	5,42	32,11	1,165	27,56
45	20,2	243	V	13,9	7,01	32,25	1,703	18,93
	25,3	241	IV	14,3	6,17	33,75	1,487	22,69
	29,6	234	III	15,5	5,14	34,55	1,203	28,72

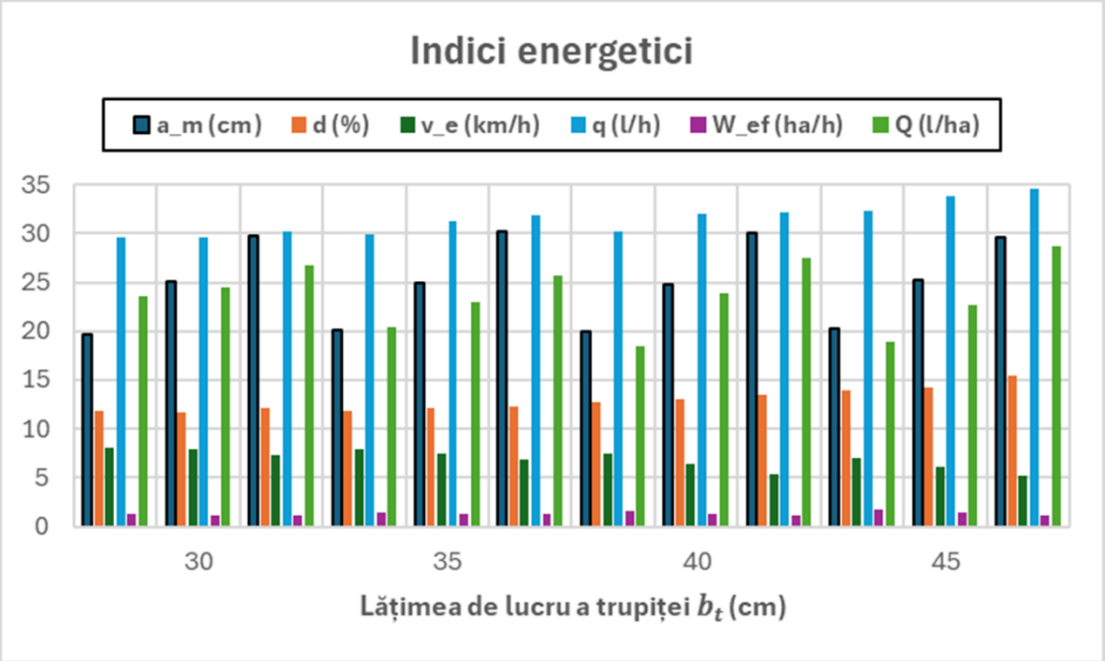


Figura 5.7. *Indicii energetici ai lucrării de arat efectuată cu agregatul format din tractorul A 1800-A și plug PP5VM pe sol brun-roșcat cu umiditate medie de 18 % în stratul de arat*

În timpul încercărilor în condiții de exploatare s-au determinat indicii de exploatare prin cronometrare sau au fost calculați după procedura de încercare a plugurilor elaborată de INMA București (INMA-DI 2008). Valorile medii ale indicilor de productivitate și consum de combustibil determinate la încercări, în condiții de producție, sunt prezentate în tabelul 5.2. Analizând datele din tabelul 5.2 rezultă că plugul PP5VM realizează indici corespunzători de productivitate și consum de combustibil. Valorile medii ale coeficienților de folosire a timpului de lucru (lățimiea de lucru pe trupiță a fost reglată la 40 cm iar adâncimea de lucru la 30 cm) sunt prezentate în tabelul 5.3.

Tabel 5.3. *Indici de exploatare ai agregatului format din tractorul A 1800A și plug PP5VM la lucrarea de arat la 30 cm adâncime și o lățime pe trupiță de 40 cm pe sol brun-roșcat cu umiditatea medie de 18% în stratul arat*

Denumirea indicelui	**Simbol**	**UM**	**Valoarea**
Coeficientul de folosire al timpului operativ	K_{02}	-	0,939
Coeficientul de folosire al timpului operativ total	K_{03}	-	0,890
Coeficientul de folosire al timpului de producție	K_{04}	-	0,866
Coeficientul de folosire al timpului schimbului	K_{07}	-	0,731
Coeficientul întoarcerilor	K_{21}	-	0,942
Coeficientul siguranței tehnologice	K_{41}	-	0,993
Coeficientul siguranței tehnice	K_4	-	0,970
Capacitatea de lucru orară la timpul efectiv	W_{ef}	ha/h	1,165
Capacitatea de lucru orară la timpul operativ	W_{02}	ha/h	1,094
Capacitatea de lucru orară la timpul operativ total	W_{03}	ha/h	1,037
Capacitatea de lucru orară la timpul de producție	W_{04}	ha/h	1,009
Capacitatea de lucru orară la timpul schimbului	W_{07}	ha/h	0,851
Capacitatea de lucru pe schimbul de 8 ore	W_{sch}	ha/sch	6,813
Consumul specific de combustibil	Q	l/ha	27,56

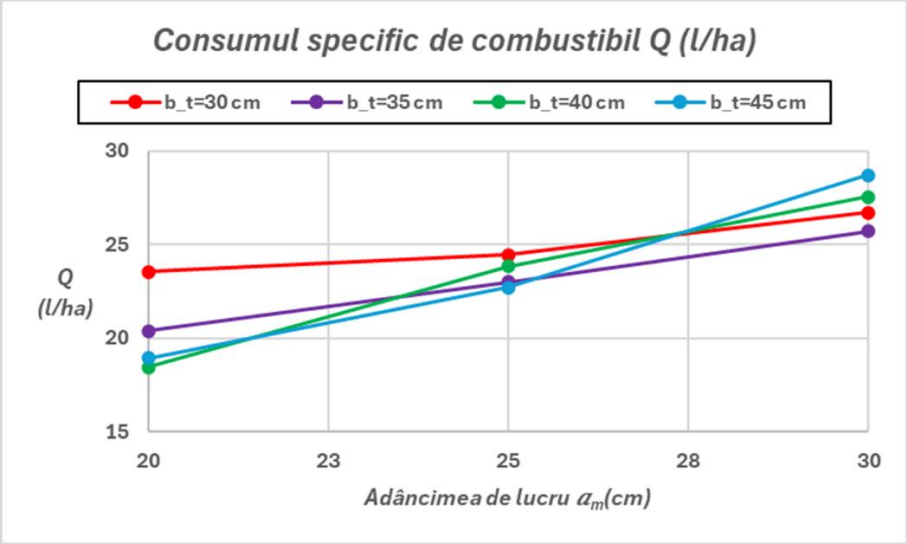


Figura 5.8. *Consumul specific de combustibil la lucrarea de arat efectuată cu agregatul format din tractorul A 1800A și plug PP5VM pe sol brun-roșcat cu umiditate medie de 18 % în stratul de arat*

Analizând datele din tabelul 5.3 rezultă că plugul PP5VM realizează coeficienți corespunzători de folosire a timpului de lucru. Plugul PP5VM are o fiabilitate corespunzătoare în exploatare, coeficientul de siguranță în exploatare înregistrând valoarea de 0,97. În condiții normale de acoperire a solului cu resturi vegetale și uniform distribuite nu au fost semnalate înfundări ale organelor active.

Tabel 5.4. *Comparație între indicii energetici calculați cu algoritmii din subcapitolul 4.3.2 și cei rezultați din încercările experimentale în câmp ai agregatului format din tractorul A-1800 și plugul PP5VM la lucrarea de arat*

Lățimea de lucru pe trupiță b_t (cm)	Indicii regimului de lucru				Indicii energetici caracteristici				Indicii de productivitate și consum			
	Adâncimea teoretică de lucru a_t (cm)	Adâncimea medie reală de lucru a_{mr} (cm)	Lățimea teoretică de lucru B_t (cm)	Lățimea medie reală de lucru B_{mr} (cm)	Viteza de lucru teoretică v_t (km/h)	Viteza de lucru efectivă v_e (km/h)	Consumul orar teoretic de combustibil q_t (l/h)	Consumul orar real de combustibil q_r (l/h)	Capacitatea de lucru teoretică W_t (ha/h)	Capacitatea de lucru reală W_r (ha/h)	Consumul specific teoretic de combustibil Q_t (l/ha)	Consumul specific real de combustibil Q_r (l/ha)
30	20	19.7	150	156	7.2	8.04	28	29.53	1.25	1.254	22.5	23.54
	25	25.1		154		7.85	29	29.57	1.22	1.209	24	24.45
	30	29.7		153		7.38	30	30.15	1.14	1.129	26	26.70
35	20	20.1	175	186		7.87	30	29.85	1.5	1.464	20	20.39
	25	24.9		182		7.45	31	31.18	1.4	1.356	22.5	22.99
	30	30.2		181		6.83	32	31.79	1.3	1.236	25	25.72
40	20	19.9	200	220		7.42	31	30.12	1.6	1.632	18	18.45
	25	24.8		211		6.36	32	31.97	1.4	1.342	23.2	23.82
	30	30.1		215		5.42	33	32.11	1.2	1.165	27.1	27.56
45	20	20.2	225	243		7.01	32	32.25	1.8	1.703	18.3	18.93
	25	25.3		241		6.17	33	33.75	1.5	1.487	21.9	22.69
	30	29.6		234		5.14	34	34.55	1.3	1.203	28.2	28.72

În tabelul 5.4. este prezentată o comparație dintre indicii energetici calculați cu algoritmii de calcul elaborați în subcapitolul 4.3.2 și cei rezultați din încercările experimentale în câmp pentru agregatul agricol format din tractorul A-1800 și plugul PP5VM la lucrarea de arat. Se constată că diferențele dintre valorile calculate și cele rezultate din încercări experimentale, pentru fiecare indice în parte, se încadrează în intervalul 3-12 %, de unde rezultă concluzia că algoritmii de calcul numeric elaborați în subcapitolul 4.3.2 pot fi validați.

5.6. Cercetări experimentale privind determinarea procesului de lucru optimal al grapelor cu discuri

În anul 2022, în perioada martie-aprilie, s-au desfășurat în localitatea Mozăceni, jud. Argeș, încercările experimentale în câmp pentru procesul de lucru executat de două tipuri de grape, una clasică -tractată GD-3.2 (Figura 5.9, 5.10) și una purtată, cuplată la mecanismul de cuplare cu prindere în trei puncte GD-3.2P (Figura 5.11) în agregat cu un tractor U-650 de 65 CP, echipat cu ridicător hidraulic cu control automat al forței de tracțiune.



Figura 5.9. *Agregat agricol format din tractor U-650 și grapa cu discuri tractată GD-3.2*



Figura 5.10. *Grapa cu discuri tractată GD-3.2*



Figura 5.11. *Grapa cu discuri purtată GD-3.2P*

Față de grapa cu discuri tractată, clasică, GD-3.2 (Figura 5.10) în cazul grapei purtate GD-3.2P (Figura 5.11) au rezultat o serie de avantaje, materializate prin creșterea productivității cu peste 20% și reducerea consumului de combustibil la hectar cu peste 10%.

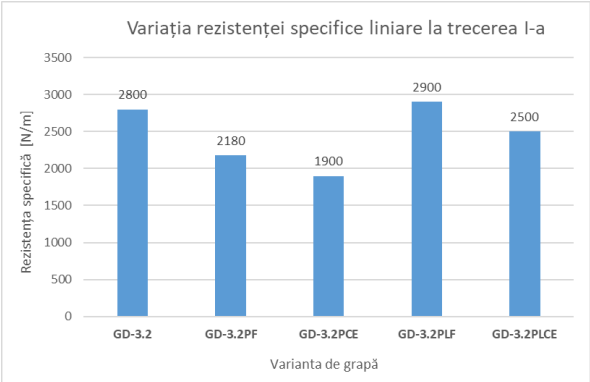
Agregatul alcătuit din tractorul U-650 și grapa cu discuri purtată GD 3.2P, are o stabilitate longitudinală, în poziție de transport, asigurată la limită. La începutul experimentărilor s-a observat că pe solurile brun roșcate de pădure efectul grapei cu discuri purtată GD-3.2P, privind mărunțimea bulgărilor, este mai redus față de grapa cu discuri tractată GD-3.2. Acest aspect poate fi explicat pe seama diferenței de greutate între cele două grape. S-a procedat la lestarea grapei cu discuri cu două greutăți adiționale a 105 kg, masa totală a grapei GD-3.2P crescând de la 760 kg la 970 kg. În astfel de condiții însă, stabilitatea longitudinală nu mai este asigurată, ceea ce impune lestarea pe puntea față a tractorului cu greutăți adiționale. Pe baza observațiilor arătate mai sus, grapa cu discuri purtată a fost încercată în două variante și anume:

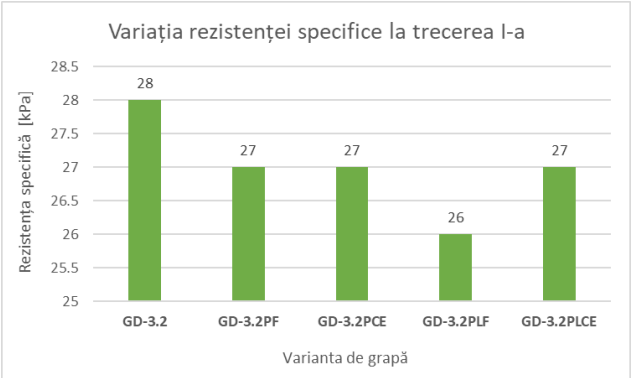
- **GD-3.2P** - grapa cu discuri purtată în construcție inițială;
- **GD-3.2PL** - grapa cu discuri purtată lestată cu greutăți adiționale.

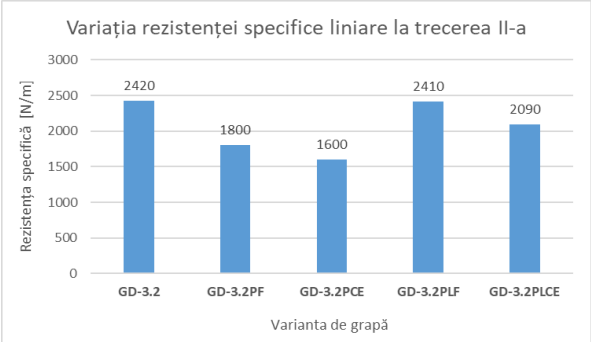
Ambele variante au fost experimentate comparativ cu grapa cu discuri tractată GD-3.2 pe arătură de toamnă în sol brun roșcat de pădure, la lucrarea de discuit I și discuit II (două discuiri succesive). Variantele de grape purtate au fost încercate folosind instalația hidraulică pe control de efort (**CE**), cât și pe flotant (**F**). În toate variantele experimentate, bateriile cu discuri au fost fixate pe poziție medie de înclinare, respectiv la 15°. Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în cele ce urmează.

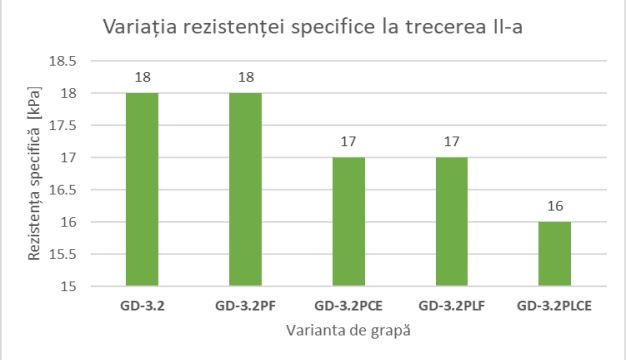
Tabel 5.5. *Rezultate experimentale pentru rezistența la tracțiune*

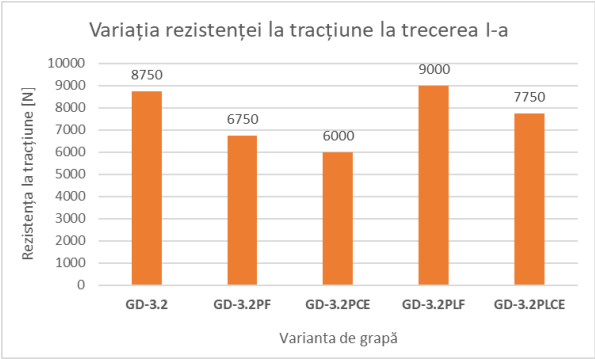
Varianta de grapă	Poziția ridicătorului hidraulic	Discuit	*a* [cm]	B_l [m]	Rezistența la tracțiune R_t [N]	Rezistența specifică [N/m]	[kPa]
GD-3.2	-	I	9-11	3.1	8750	2800	28
	-	II	12-14	3.1	7500	2420	18
GD-3.2P	Flotant	I	7-9	3.1	6750	2180	27
		II	9-11	3.1	5500	1800	18
	Control de efort	I	6-8	3.1	6000	1900	27
		II	8-10	3.1	5000	1600	17
GD-3.2PL	Flotant	I	10-12	3.1	9000	2900	26
		II	13-15	3.1	7500	2410	17
	Control de efort	I	8-10	3.1	7750	2500	27
		II	12-14	3.1	6500	2090	16

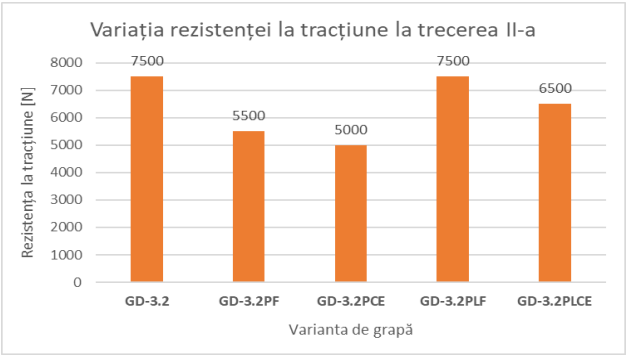






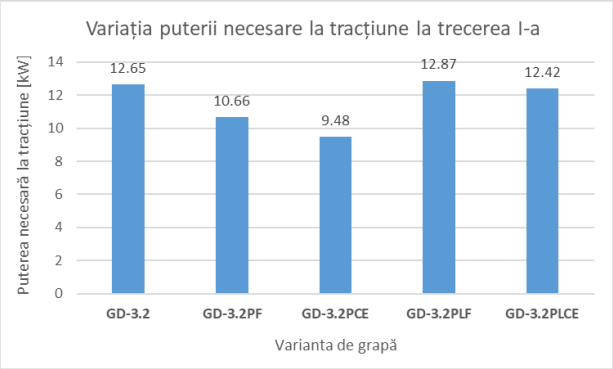


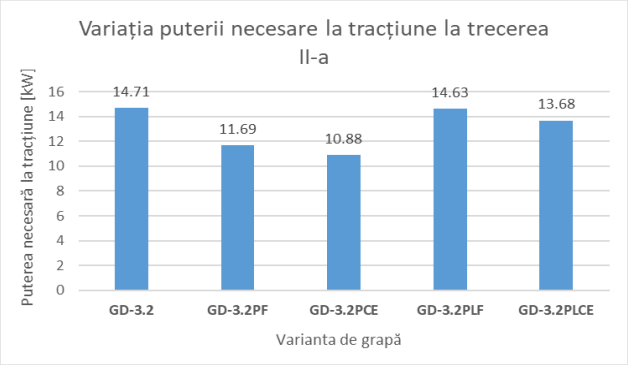


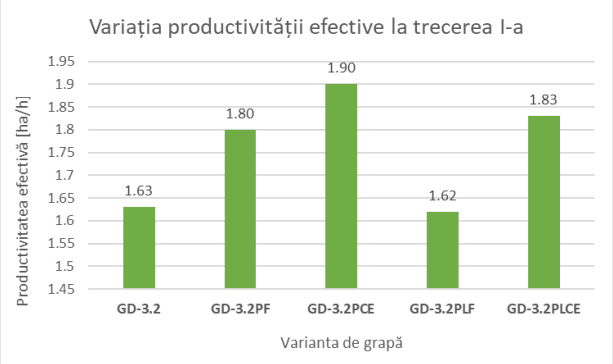


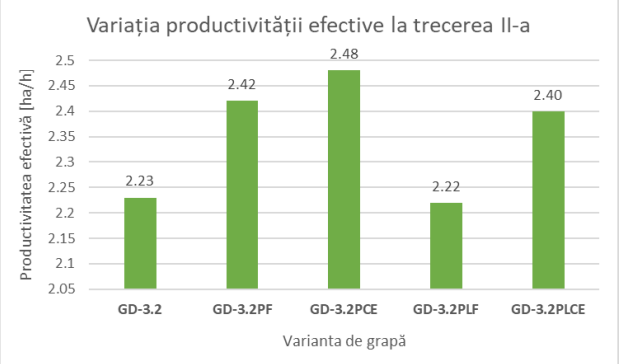
Tabel 5.6. *Rezultate experimentale pentru rezistența la tracțiune*

Varianta de grapă	Poziție ridicător hidraulic	Discuit	Viteza de lucru treaptă [km/h]	Patinare [%]	R_t [N]	P_t [kW]
GD-3.2	-	I II R	5.28	20	8750	12.65
		II III R	7.20	11	7500	14.71
GD-3.2 P	Flotant	I II R	5.80	16	6750	10.66
		II III R	7.80	9	5500	11.69
	Control de efort	I II R	6.10	10	6000	9.48
		II III R	8.00	7.5	5000	10.88
GD-3.2 PL	Flotant	I II R	5.25	15	9000	12.87
		II III R	7.15	12	7500	14.63
	Control de efort	I II R	5.90	10	7750	12.42
		II III R	7.75	9	6500	13.68



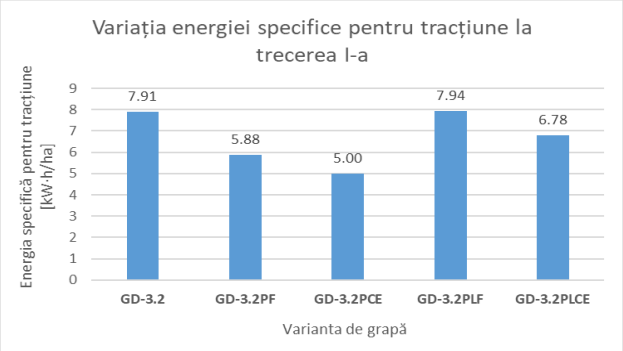


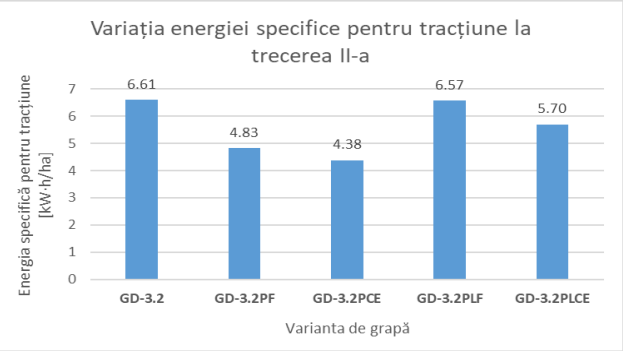


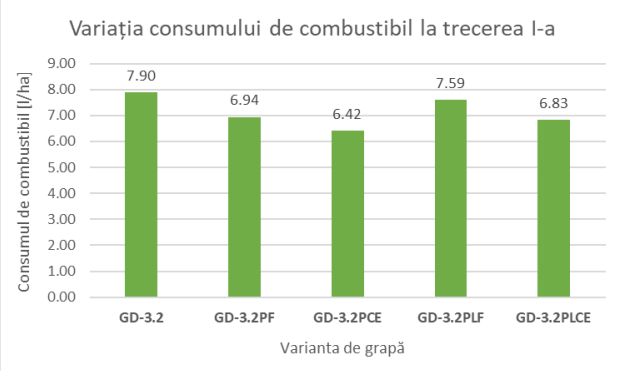


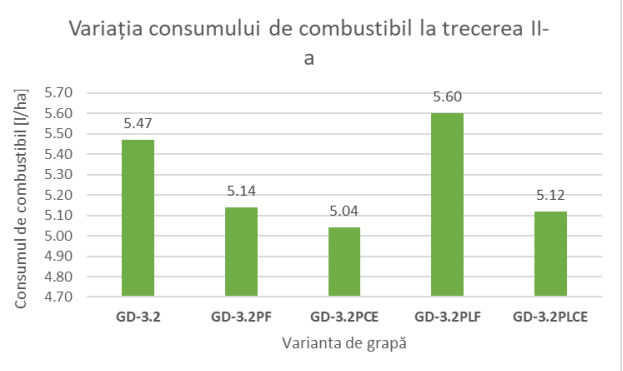
Se poate observa că productivitatea este mai mare pe poziția cu control de efort (CE) față de flotant (F) în ambele variante de grapă purtate, sporul fiind mai semnificativ la varianta lestată (L) când solicitarea la tracțiune este mai mare. Creșterea productivității se datorează reducerii patinării, îndeosebi ca urmare a creșterii sarcinii pe roțile motoare ce se realizează prin mecanismul hidraulic cu control de efort, așa după cum rezultă teoretic și din subcapitolul 4.3.4.

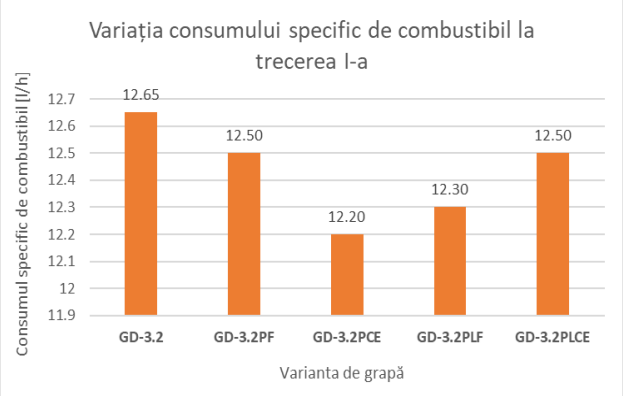
Consumul de energie este mai mic când grapele purtate lucrează pe control de efort (CE) în varianta GD-3.2PL -lestat. În condiții similare de adâncime, energia specifică este mai mică cu 13-14% față de varianta tractată GD-3.2, fapt ce se datorează reducerii necesarului de putere pentru acționare și creșterii capacității de lucru (productivității efective).

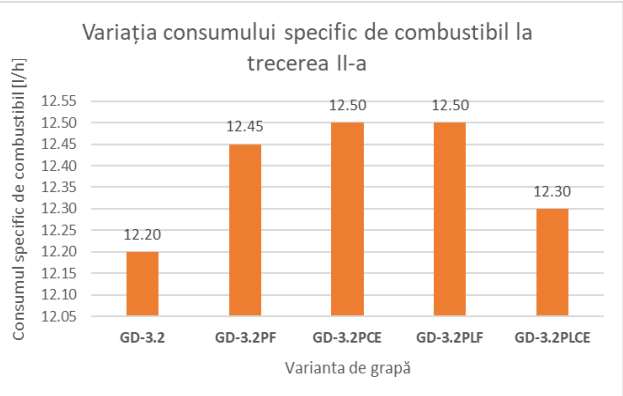




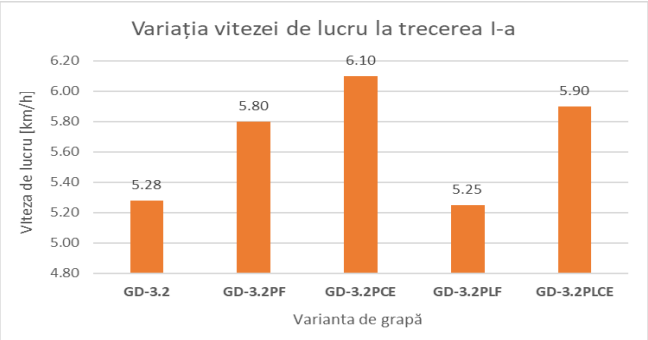


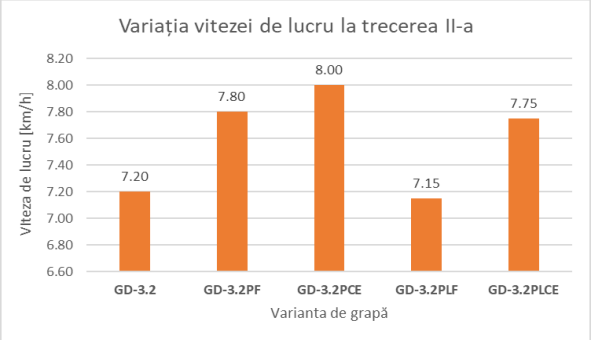






Ca urmare a creșterii productivității și reducerii necesarului de putere, instalația hidraulică cu controlul de efort conduce la reducerea consumului de combustibil la hectar cu 6-14%, la varianta de grapă purtată și lestată, în lucru pe control de efort, față de varianta de grapă tractată. Aceeași observație se reține și în legătură cu influența ridicătorului cu controlul de efort și anume că eficiența este mai mare în condiții de solicitare mai mare la grapa GD-3.2P unde reducerea consumului de combustibil este de 3-7% față de varianta flotant la GD-3.2L (lestat), iar reducerea consumului de combustibil față de varianta tradițională de grapă tractată GD-3.2 este de 9-10%.





Efectul de mărunțire a bulgărilor pentru cele trei variante de grapă s-a evidențiat prin măsurarea dimensiunilor medii ale bulgărilor care depășesc dimensiunile de 50 mm, care au fost determinate inițial și, apoi, după fiecare trecere a grapelor și prin repartizarea acestora pe grupe de mărimi. Așa cum se poate observa, grapa cu discuri GD-3.2P, în construcție inițială, are un efect de mărunțire mai redus decât grapa cu discuri tractată GD-3.2. După lestare, efectul s-a îmbunătățit, mărunțirea fiind mai bună decât la GD-3.2, fapt ce poate poate fi atribuit discurilor din față crestate.

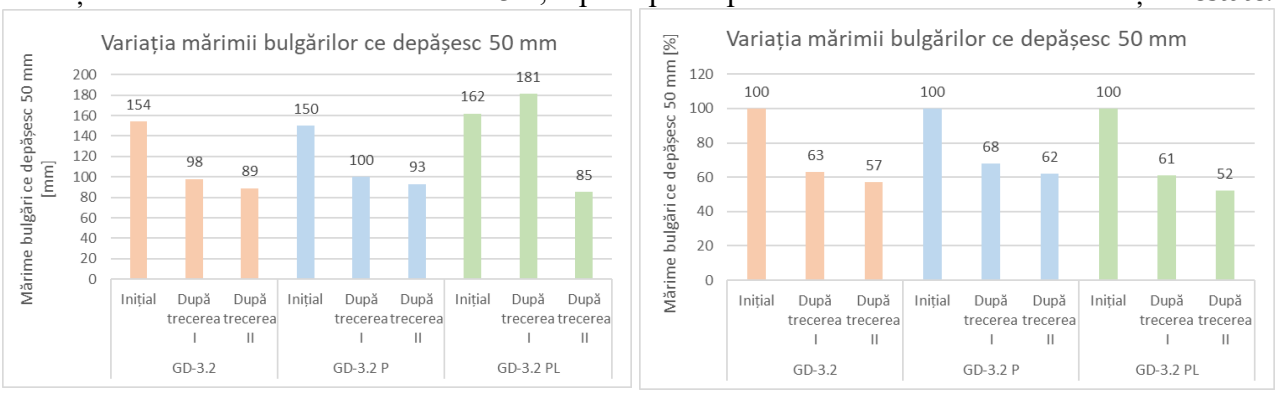


Figura 5.12. *Variația mărimii bulgărilor ce depășesc 50 mm*



În final, rezultă că grapa cu discuri GD-3.2P trebuie lestată pentru a se obține indici calitativi de lucru comparativi cu cei realizați cu grupa cu discuri GD-3.2. Grapa cu discuri GD-3.2P lestată poate lucra în agregat cu tractorul U-650 cu greutăți adiționale pe puntea din față cu maneta ridicătorului hidraulic pe poziția ”flotant”, caz în care se obțin indicii de exploatare practic egali cu ai agregatului U-650+GD-3.2. În agregat cu tractorul prevăzut cu ridicătorul hidraulic cu control de efort, se obține o creștere a productivității și o reducere a consumului de combustibil la hectar cu peste 5 %.

Tabel 5.7. *Comparație între indicii energetici calculați cu algoritmii din subcapitolul 4.3.4 și cei rezultați din încercările experimentale în câmp pentru agregatul format din tractorul U-650 și grapa cu discuri GD-3.2, respectiv GD-3.2P la lucrarea de discuit*

Varianta de grapă	Poziție ridicător hidraulic	Trecere	Viteza de lucru teoretică (km/h)	Viteza de lucru reală (km/h)	Rezistența la tracțiune teoretică R_{tt} (N)	Rezistența la tracțiune reală R_{tr} (N)	Puterea teoretică necesară P_{tt} (kW)	Puterea reală necesară P_{tr} (kW)
GD-3.2		I	6	5.28	8300	8750	13	12.65
		II	7.2	7.20	7200	7500	13.8	14.71
GD-3.2 P	Flotant	I	6	5.80	7100	6750	11.3	10.66
		II	7.2	7.80	6000	5500	11.6	11.69
	Control de efort	I	6	6.10	6300	6000	9.1	9.48
		II	7.2	8.00	5100	5000	10.3	10.88

În tabelul 5.7. este prezentată o comparație dintre indicii energetici calculați cu algoritmii de calcul elaborați în subcapitolul 4.3.4 și cei rezultați din încercările experimentale în câmp pentru agregatul agricol format din tractorul U-650 și grapa cu discuri tractată GD-3.2, respectiv grapa cu discuri purtată GD-3.2P la lucrarea de discuit. Se constată că diferențele dintre valorile calculate și cele rezultate din încercări experimentale, pentru fiecare indice în parte, se încadrează în intervalul 5-10 %, de unde rezultă concluzia că algoritmii de calcul numeric elaborați în subcapitolul 4.3.4 pot fi validați.

Capitolul 6 CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE

6.1. Concluzii

- Agregatele agricole destinate pregătirii patului germinativ în vederea înființării culturilor se regăsesc între cei mai mari consumatori de combustibil din fermă, ceea ce impune exploatarea lor în regim optim: indici calitativi cât mai buni, consum energetic minim și productivitate ridicată.
- Performanțele de exploatare optime se pot obține prin cercetări experimentale ce generează modele empirice și prin modelare matematică a interdependențelor dintre factorii procesului (sol, organ de lucru, viteză, adâncime, tasare), modele rezolvabile numeric odată cu dezvoltarea calculatoarelor.
- În prezent, inclusiv din perspectiva utilizării vehiculelor autonome pentru agricultură, sunt necesari algoritmi (care încă lipsesc în majoritatea cazurilor) care să determine regimul de lucru optim al agregatelor tractor–mașină (de ex., minimizarea consumului specific cu respectarea calității patului germinativ), servind drept bază pentru decizii automate privind parametrii de exploatare.
- Din studiile și cercetările efectuate rezultă că pentru elaborarea de algoritmi de calcul pentru determinarea regimului de lucru optimal al mașinilor agricole de pregătire a patului germinativ este necesară cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale solului prelucrat și a variației acestora în functie de diverși factori, precum și de cunoașterea detaliată a procesului de lucru al acestor mașini.
- Mașinile agricole care sunt folosite pentru pregătitea patului germinativ pot influența atât negativ, cât și pozitiv proprietățile fizico-mecanice ale solului, motiv pentru care selecția acestora trebuie făcută cu atenție.
- Criteriile de optimizare avute în vedere în cazul mașinilor de pregătire a patului germinativ sunt: capacitatea maximă de lucru a agregatelor, consumul minim de energie pe unitatea de lucru efectuat, consumul minim de combustibil pe unitatea de lucru efectuat, puterea minimă a sursei energetice a agregatului, masa redusă a agregatelor, necesarul redus de forță de muncă, consumul minim de materiale pe unitatea de lucru efectuat, indicatori de calitate superiori, fiabilitate maximă a agregatelor, durata minimă de folosință a utilajelor, condiții maxime de confort, cheltuieli minime pe unitatea de lucru efectuat, randament maxim etc.

- Pentru optimizarea procesului de pregătire a patului germinativ, este necesară elaborarea de modele matematice care să simuleze consumul energetic al componentelor sistemului de mașini agricole.
- Rezistența la tracțiune a mașinilor agricole de pregătire a patului germinativ, ca și ceilalți parametri ai agregatului, au un pronunțat caracter aleator. Asupra caracteristicilor de variație influențează o serie de factori dintre care cei mai importanți sunt: tipul solului, tasarea solului, umiditatea, neuniformitatea, textura și structura solului prelucrat, precum și unele variații care apar la roțile motoare și la punctele de articulație ale agregatului.
- Variația rezistenței în lucru a mașinilor agricole de pregătire a patului germinativ conduce la funcționarea motorului tractorului în regim instabil. În funcție de această variație și de coeficientul de încărcare a motorului au loc pierderi de putere de până la 10-15%.
- Este necesară determinarea parametrilor de operare optimi pentru agregatele agricole destinate pregătirii patului germinativ care să asigure utilizarea în întregime a puterii motorului tractorului și folosirea agregatului la capacitatea maximă de lucru, respectiv, realizarea un bilanț de putere optimal. În prezent, pentru aceasta, este posibilă utilizarea unor algoritmi de calcul analitic și numeric, implementabili pe tractoarele agricole moderne.
- Agregatele agricole, în condițiile reale de lucru, sunt folosite în prezența unor factori de influență cu un pronunțat caracter aleator.
- În cazul proceselor staționare, caracteristicile statistice ale parametrilor analizați se obțin prin examinarea și calculul succesiv al funcțiilor măsurabile, rezultând astfel caracteristicile statistice ale întregului proces.
- În analiza procesului de lucru specific unui agregat agricol mobil de pregătire a patului germinativ, sunt de interes atât influențele microreliefului ce acționează asupra agregatului manifestate prin variația puterii necesare pentru deplasare, cât și influențele neomogenității materialului prelucrat, evidențiate prin variația puterii solicitate de organele de lucru.
- Indicatorii pentru exploatarea sistemului agricol în vederea pregătirii patului germinativ reflectă eficiența modului de operare a acestuia.
- Rezistența la tracțiune a plugului crește pe măsură ce viteza de deplasare a acestuia crește, fiind mai mică la viteze reduse (0.5-2 m/s) și mult mai mare la viteze mărite de lucru (2-3.5 m/s).
- Exploatarea optimală a agregatelor destinate efectuării lucrării de arat este esențială dacă se dorește o utilizare eficientă a resurselor și o reducere a costurilor.
- Utilizarea în întregime a puterii motorului tractorului și folosirea agregatului de arat la capacitatea maximă de lucru permite realizarea unui bilanț de putere optimal. Regimul de exploatare optimal poate fi determinat prin algoritmi de calcul numeric, pe baza multiplicatorilor lui Lagrange, cu ajutorul unor programe de calcul. Pentru obținerea productivității maxime la nivelul puterii motorului este necesară determinarea prin calcul a vitezei de lucru optime și a lățimii de lucru optime, în funcție de coeficientul de folosire a timpului de deplasare a agregatului de arat.
- Pe măsură ce adâncimea de lucru crește, lucrul mecanic specific necesar prelucrării solului folosind nivelatorul scade. Reglarea unghiului de tăiere al lamei la valori apropiate de 90° contribuie la reducerea lucrului mecanic specific al lucrării, utilizarea nivelatorului fiind mai eficientă la adâncimi mai mari.
- Pentru aceleași condiții de lucru, forța de tracțiune a tractorului U-650 crește considerabil dacă grapa cu discuri este cuplată la tractor în variantă purtată deoarece crește valoarea reacțiunii pe puntea motoare, în comparație cu varianta de cuplare de tip semipurtată, crescând considerabil forța motoare.

6.2. Contribuții personale

- ✓ Analiza stadiului cercetărilor efectuate pe plan mondial privind pregătirea patului germinativ.
- ✓ Analiza metodelor de optimizare a sistemelor tehnice și elaborarea unei biblioteci de programe pentru calcul numeric.
- ✓ Elaborarea studiului teoretic privind modelarea matematică a consumului energetic al plugurilor.

- ✓ Elaborarea unui pachet de programe Python pentru modelarea matematică a exploatării optimale a agregatelor de arat.
- ✓ Desfășurarea de cercetări experimentale în vederea determinării regimului de lucru optim al agregatelor de arat și validarea modelelor matematice.
- ✓ Elaborarea studiului teoretic proivind modelarea matematică a consumului energetic al grapelor cu discuri semipurtate și purtate.
- ✓ Elaborarea unui pachet de programe Python pentru modelarea matematică a exploatării optimale a agregatelor formate de tractor cu grape cu discuri semipurtate și purtate.
- ✓ Desfășurarea de cercetări experimentale în vederea determinării procesului de lucru optim al agregatelor formate de tractor cu grape cu discuri semipurtate și purtate și validarea modelelor matematice.
- ✓ Valorificarea rezultatelor studiilor și cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat prin elaborarea și publicarea unui număr de 8 lucrări științifice în reviste de specialitate sau în volume ale unor conferințe naționale și internaționale în calitate de autor și coautor (dintre care una în revistă de specialitate indexată ISI, iar una în revistă de specialitate indexată SCOPUS).

6.3. Perspective

- ✓ Prezenta teză de doctorat constituie o bază serioasă de continuare a cercetărilor în vederea dezvoltării teoriei exploatării optimale a agregatelor agricole de pregătire a patului germinativ, a perfecționării modelelor matematice și elaborării de algoritmi de calcul, aplicabili în cazul tuturor mașinilor agricole de lucrat solul.
- ✓ Din perspectiva iminentei treceri la utilizarea agregatelor agricole autonome pentru prelucrarea patului germinativ se întrezărește aplicabilitatea unor astfel de algoritmi în generarea de decizii asistate pentru reglajul în timp real al parametrilor de exploatare ai agregatelor agricole.
- ✓ Ținând cont de faptul că agregatele agricole de pregătire a patului germinativ, în condițiile reale de lucru, sunt folosite în prezența unor factori de influență cu un pronunțat caracter aleator, se preconizează dezvoltarea de modele matematice și algoritmi de calcul numeric care să permită abstractizarea cu ajutorul teoriei proceselor aleatoare a regimului de lucru pentru aceste agregate agricole în vederea exploatării optimale a acestora.

Bibliografie selectivă

AboAl-Kheer, A., M.G. Kharmanda, A. El Hami, și A.M. Mouazen. 2011. „Estimating the variability of tillage forces on a chisel plough shank by modeling the variability of tillage system parameters." *Computers and Electronics in Agriculture* (1): 61-70.

Ahmadi, I. 2017. „A power estimator for an integrated active-passive tillage machine using the laws of classical mechanics." *Soil and Tillage Research, Vol. 171* 1-8.

Ancău, M., și L. Nistor. 1996. *Tehnici numerice de optimizare în proiectarea asistată de calculator.* Bucureşti: Editura Tehnică.

Ani, O. A., B. B. Uzoejinwa, A. O. Ezeama, A. P. Onwualu, S. N. Ugwu, și C. J. Ohagwu. 2018. „Overview of soil-machine interaction studies in soil bins." *Soil and Tillage Research* 175: 13-27.

Anpat, R.M., și H. Raheman. 2017. „Investigations on power requirement of active-passive combination tillage implement." *Engineering in Agriculture. Environ. Food* 10: 4-13.

Babiciu, P., și S.ŞT. Biriș. 2000. „Interdependenţa factorilor de influenţă a procesului de arat." *Construcţia de maşini* 1-2: 35-37.

Balsari, P., Biglia, A., Comba, L., Sacco, D., Eloi Alcatrão, L., Varani, M., Mattetti, M., Barge, P., Tortia, C., Manzone, M., Gay, P., Ricauda Aimonino, D. 2021. „Performance analysis of a tractor - power harrow system under different working conditions." *Biosystems Engineering* 28-41.

Bebea, N. 1978. *Metode pentru rezolvarea problemelor de optimizare.* Bucureşti: Editura Didactică şi Pedagogică.

Biriş, S. Şt., N. Ungureanu, N. E. Gheorghiță, E. Maican, și V. Vlăduț. 2017. „Theoretical research on enhancing the performance of cultivators working bodies." *Proceedings of the 45th International Symposium on Agricultural Engineering "Actual Tasks on Agricultural Engineering"* . Opatija / Croatia. 121-130.

Brătucu, GH. 2010. „Mathematical Model of the Energetic Consumption for Digging Soil Machines in Greenhouses." *Bulletin of the Transilvania University of Braşov* 3 (52): 143-150.

Canarache, Andrei. 1990. *Fizica solurilor agricole.* Bucharest: Editura CERES.

Căproiu Şt., et al. 1982. „Agricultural machinery for soil tillage, seeding and crop maintenance." (Didactic and Pedagogic Publishing House).

Cârlan, M. 1994. *Probleme de optimum în ingineria sistemelor tehnice.* Bucureşti: Editura Academiei Române.

CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Plant Production Engineering. 1999. Vol. III. American Society of Agricultural Engineers.

Ciulu, GH., și GH. Bârcă. 2002. *Optimizarea exploatării agregatelor agricole.* Vol. II. Craiova: Reprografia Universităţii din Craiova.

Constantinescu, A., Gh. Popa, și I. Dumitru. 2006. „The energetic analyse of the system tractor-agriculture machine used for the preparation of the soil for sowing." *The 1st International Conference on Motor Vehicle and Transportation MVT 2006.* Timisoara, Romania.

Constantinescu, A., și S. Popescu. 2009. „Equipment and methodology for experimental research of the dynamic and energetic of the high power agricultural tractors of in aggregate with tillage machine systems." *The 3rd International Conference "Computational Mechanics And Virtual Engineering And Applications In Automotive Engineering", COMEC 2009.* Braşov: Universitatea Transilvania din Braşov.

Dobrescu, C. 1981. *Optimizarea parametrilor agregatelor agricole în scopul reducerii consumurilor.* Bucureşti: Centrul de material didactic şi propagandă agricolă.

Gheorghiță, N.E., S.Șt. Biriș, N.V. Vlăduț, N. Ungureanu, E. Maican, și M. Matache. 2022. „Research on the development of a calculus algorithm to estimate the resistant force of self-vibrating cultivators used for seedbed preparation." *U.P.B. Sci. Bull., Series D* 84 (2): 185-195.

Gheres, M., și V. Roș. 2007. „Mathematical model for soil tillage energy evaluation." *Simpozion Tehnologii de mecanizare şi echipamente tehnice pentru agricultură şi industria alimentară armonizată la practica U.E., INMATEH 2007-III.* Bucureşti, România. 213-219.

Ghereș, M.I. 2014. „Mathematical model for studying the influence of tillage tool geometry on energy consumption." *INMATEH -Agricultural Engineering* 42 (1): 5-12.

Gill, W.R., și G.E. Vanden Berg. 1968. *Soil dynamics in tillage and traction.* USA, Washington D.C: U.S.A. Department of Agriculture, Handbook 316.

Keshavarzpour, F. 2012. „Response of some important physical and mechanical properties of soil to different tillage methods." *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sci.* 12 (7): 914-916.

Koolen, A.J., și H. Kuipers. 1983. *Agricultural soil mechanics.* Vol. 13. Springer, Heidelberg: Advanced Series in Agricultural Sciences.

Kumar, A., Shrivastava, A.K., Nandini, Y., Namdeo, R. 2023. „Performance evaluation of trailed type disc harrow on vertisols field condition." *International Journal of Statistics and Applied Mathematics, SP-8(6)* 329-333.

Legay, I. M. 1988. *Methodes et models dans l'etude des sistemes complexes. Pour une agriculture divesifieé.* Paris: Ed. L'Harmattan.

Lonkwic, P., Usydus, I., Tofil, A., Krakowski, T., Ruta, H., Pieniak, D. 2021. „Case Study on Numerical Calculation of a Disc Bush in the Disc Harrow in the Welding Version." *Mechanika* 513-520.

M. Rashidi, M., Lehmali, H.F., Beni, M.S., Malekshahi, M., Tabrizi Namin, S. 2013. „Prediction of Disc Harrow Draft Force Based on Soil Moisture Content, Tillage Depth and Forward Speed." *Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 15, Iss. 2* 260-265.

Mattetti, M., M. Varani, G. Molari, și F. Morelli. 2017. „Influence of the speed on soil-pressure over a plough." *Biosystems Engineering* 156: 136-147.

McKyes, E. 1985. *Soil cutting and tillage.* Elsevier: Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.

Md-Tahir, H., J. Zhang, J. Xia, Y. Zhou, H. Zhou, J. Du, și H. Mamona. 2021. „Experimental investigation of traction power transfer indices of farm-tractors for efficient energy utilization in soil tillage and cultivation operations." *Agronomy* 11 (1): 168.

Meca, V.A., P. Cârdei, și G. Konstandinov. 2012. „Studies and research for unifying the resistance expression of machines designed to soil tillage with applications in their working regime optimization." *INMATEH -Agricultural Engineering* 36 (1).

Moise, V., S.Șt. Biriș, B. Grecu, N. Ungureanu, L. David, și G. Paraschiv. 2010. *Determination of the minimum surface of an agricultural farm from which a certain power range of tractors become profitable.* Vol. 38. Opatija, Croatia: Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering".

Năstăsoiu, S., Andreescu, C., Popescu, S., Frățilă, Gh., Cristea, D. 1983. *Tractoare și automobile.* București: Editura Didactică și Pedagogică.

Okoko, P., Ajav, E.A., Olosunde, W.A. 2018. „Draft and power requirements for some tillage implements operating in clay loam soil." *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol. 20, No. 1* 95-102.

Perdok, U. D., și J. K. Kouwenhoven. 1994. „Soil-tool interactions and field performance of implements." *Soil and Tillage Research* 30: 283-326.

Roș, V., ş.a. 1998. *Model matematic pentru analiza energetică a procesului de prelucrare a solului.* Cluj-Napoca: Conferinţa TRANSAGRATECH.

Şandru, A. ş.a. 1983. *Exploatarea utilajelor agricole.* Bucureşti: Editura Didactică şi Pedagogică.

Scripnic, V., și P. Babiciu. 1979. *Maşini agricole.* Bucureşti: Editura Ceres.

Simionescu, I., M. Dranga, și V. Moise. 1995. *Metode numerice în tehnică.* Bucureşti: Editura Tehnică.

Srivastava, A. K., E. G. Carroll, P. R. Roger, și R. B. Dennis. 2006. „Soil Tillage." *Engineering Principles of Agricultural Machines* 169-230.

Tecușan, N., Ionescu, E. 1982. *Tractoare și automobile.* București: Editura Didactică și Pedagogică.

Teșu, T., ş.a. 1984. *Energia şi agricultura.* Bucureşti: Editura Ceres.

Trendafilov, K., G. Tihanov, V. Stoykova, și G. Shivacheva. 2023. „ALGORITHM FOR OPTIMIZING THE MOVEMENT OF A MOUNTED MACHINE-TRACTOR UNIT IN THE HEADLAND OF AN IRREGULARLY SHAPED FIELD." *INMATEH-Agricultural Engineering.*

Trevini, M., Tosti, G., Benincasa, P. 2024. „Agronomic performance of disc chain harrow as a conservation agriculture tool for a one-step cover crop termination and seedbed preparation." *Experimental Agriculture, Vol. 60* 1-11.

Upadhyay, G., și H. Raheman. 2020. „Effect of velocity ratio on performance characteristics of an active-passive combination tillage implement." *Biosystems Engineering* 191: 1-12.

Varani, M., M. Mattetti, G. Molari, A. Biglia, și L. Comba. 2023. „Correlation between power harrow energy demand and tilled soil aggregate dimensions." *Biosystems Engineering* 225: 54-68.

Vlad, C. 2013. *Cercetări privind optimizarea energetică a procesului de pregătire a patului germinativ la înfiinţarea culturilor de legume - Teza de doctorat.* Brașov: Universitatea Transilvania din Braşov.

Vlăduț, D.I., S-Șt. Biriș, V. Vlăduț, D. Cujbescu, N. Ungureanu, și Găgeanu I. 2018. „Experimental researches on the working process of a seedbed preparation equipment for heavy soils." *INMATEH - Agricultural Engineering* 55: 27-34.

LISTA DE LUCRĂRI

1. Biriș S.Șt., **Lacatusu C-tin.**, Moise V., Atanasov A., (**2019**). *A mathematical algorithm for the calculation of the optimum time for using of an agricultural machine*. Proceedings of 6th International Conference „Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences", pp. 295-300, ISSN 1313-7735, Printing House "Angel Kanchev" University of Ruse, 12 – 15 June 2019, Lozenec, Bulgaria (BDI – CABI).
2. S.Șt. Biriș, A.M. Tăbărașu, N.V. Vlăduț, **C-tin Lăcătușu**, (**2022**). *Using the finite element method for structural analysis of lateral tie rods of the suspension mechanism at the tractor*. AGRI INMA -Sustainable Agriculture and Environmental Protection, No. 1/2022, pp. 26-32
3. **Constantin LĂCĂTUȘU**, Adrian IOSIF, Sorin-Ștefan BIRIȘ, Victor MOISE, Nicolae-Valentin VLĂDUȚ, Mihai Gabriel MATACHE, Neluș Evelin GHEORGHIȚĂ, Edmond MAICAN, Iulian HÂNCU, Nicoleta UNGUREANU (**2023**). *CONTRIBUTIONS TO CREATING AN ALGORITHM OF CALCULATION OF OPTIMAL OPERATING PARAMETERS FOR A COMPLEX AGRICULTURAL MACHINE FOR SEEDBED PREPARATION*, AGRI INMA -Sustainable Agriculture and Environmental Protection, Vol. 2. No. 1/2023, pp. 61-68.
4. Alexandru IONESCU, Costin MIRCEA, Dan CUJBESCU, Nicolae-Valentin VLĂDUȚ, Cătălin PERSU, Cătălin LAZĂR, Claudiu UTOIU, **Constantin LĂCĂTUȘU**, Robert BLEJAN, Lazar SAVIN (**2023**). *ADVANCED APPROACHES AND SUSTAINABLE PRACTICES FOR WEED CONTROL*. AGRI INMA -Sustainable Agriculture and Environmental Protection, Vol. 2. No. 1/2023, pp. 10-24.
5. Alexandru IONESCU, Dan CUJBESCU, Costin MIRCEA, Nicolae-Valentin VLĂDUȚ, Cătălin PERSU, Cătălin LAZĂR, Claudiu UTOIU, **Constantin LĂCĂTUȘU**, Robert BLEJAN, Atanas ATANASOV (**2023**). *INVASIVE WEEDS IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS ON CLIMATE CHANGE: IMPACT, MANAGEMENT AND RESTORATION*. AGRI INMA -Sustainable Agriculture and Environmental Protection, Vol. 2. No. 1/2023, pp. 25-42.
6. S.Șt. BIRIȘ, **C-tin LĂCĂTUȘU**, N.V. VLĂDUȚ, N.E. GHEORGHIȚĂ, N. UNGUREANU, E. MAICAN, A. IOSIF, (**2024**). *RESEARCH ON DETERMINING THE PERFORMANCE OF A VARIABLE WIDTH PLOUG DESIGNED FOR HIGH-POWER TRACTORS (180-240 HP)*, Proceedings of XV International Agriculture Symposium "AGROSYM 2024", 10-13 October 2024, pp. 279-285, Bosnia and Herzegovina
7. **C-tin LĂCĂTUȘU**, S.Șt. BIRIȘ, A. IOSIF, N.V. VLĂDUȚ, N.E. GHEORGHIȚĂ, N. E. MAICAN, (**2025**). *RESEARCH ON OPTIMIZING THE POWER BALANCE OF A PLOWING AGGREGATE COMPRISED OF A 180 HP TRACTOR AND A 5-MOLDBOARD PLOW*, INMATEH – Agricultural Engineering, Vol. 75, No. 1 / 2025, pp. 985-994, (Q4 FI=0.7), DOI10.35633/inmateh-75-83, (**WOS:001476008300014**)
8. **Constantin LĂCĂTUȘU**, Sorin-Ștefan BIRIȘ, Nicolae-Valentin VLĂDUȚ, Neluș-Evelin GHORGHIȚĂ, Mariana IONESCU, Nicoleta UNGUREANU, Adrian IOSIF, Edmond MAICAN, (**2025**). THEORETICAL RESEARCH ON IMPROVING THE PERFORMANCE OF A 65 HP AGRICULTURAL TRACTOR USED FOR HARROWING OPERATIONS, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 4, Iss. 4, 2025, ISSN 1223-7027, pp. ..... (Scopus)