

Raport de validare a funcționalității în condiții industriale a sistemului multi-trofic îmbunătățit prin integrarea substraturilor de creștere inovative, a tehnologiei bazate pe fitobiotice, cât și prin integrarea modulelor automate de observație a dinamicii biomasei sturionice și vegetale, în timp real.

Design-ul experimental menit să valideze soluțiile tehnice și tehnologice testate până în prezent în cadrul etapei 2 presupune existența a două sisteme integrate, B1, respectiv B4. Modulele acvaponice cuprind 3 unități (B1A, B2A, B3A, respectiv B4A, B4B, B4C). Unitățile B1A și B4A folosesc SH, în timp ce B1B și B4B folosesc SA. Modulele B3C, respectiv B4C sunt considerate unități martor, ele fiind prevăzute cu SA, dar fără a susține biomasă vegetală (fig. 49). Doar sistemul B4 beneficiază de modulele imagistice de observație a biomasei sturionice și a celei de busuioc. Materialul sturionicol folosit în cadrul acestui experiment a fost reprezentat de Nisetru Siberian (*Acipenser baerii*), cu o masă individuală medie de $51,41 \pm 6,57 \text{ g/ex}$, provenit de la SC SILIRUS MARKET SRL. Furaj aditivat cu busuioc (2%) crescut în regim acvaponic a fost administrat în cadrul B4 în vederea evaluării efectului acestuia asupra indicatorilor de bunăstare, dar și asupra creșterii. Dinamica parametrilor atmosferici este reliefată în fig. 49.

Indicatorii tehnologici de evaluare a performanței de creștere a materialului sturionicol (tab. 7) indică diferențe statistice nesemnificative ($p > 0.05$) între B1 și B4. Cu toate acestea, varianta experimentală hrănită cu furaj aditivat a înregistrat o valoare mai mare a factorului de conversie a hranei, fapt ce indică o eficiență de producție inferioară. De asemenea, exemplarele sturionice din B1 prezintă o abilitate superioară de a utiliza concentrația proteică a furajului administrat, comparativ cu cele

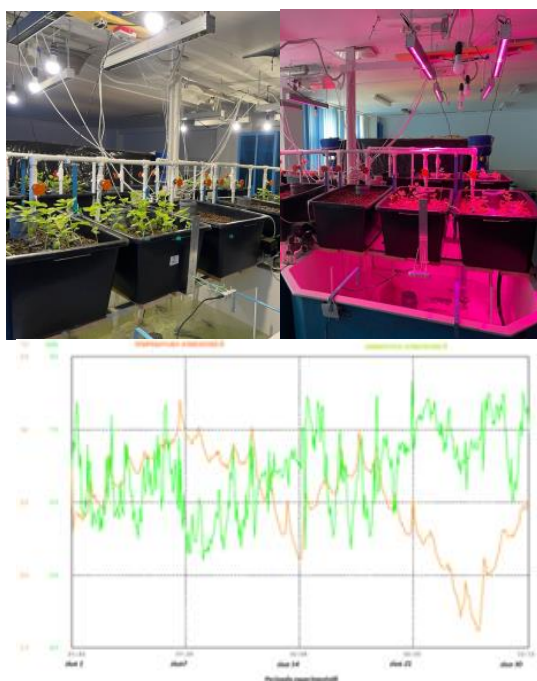


Fig. 49. Sistem integrat, dotat cu module imagistice; Dinamica parametrilor atmosferici

din B4.

Valorile coeficientului de variație a masei corporale indică o serie cu un grad de omogenitate ridicat și împrăștiere mică a valorilor în cazul B1, comparativ cu B4. Valori mai bune a coeficientului alometric sunt consemnate la B1, comparativ cu B4 (fig. 50). Drept urmare, aditivarea cu busuioc a furajului asigură o performanță mai scăzută din punct de vedere tehnologic în ceea ce privește indicatorii de creștere a materialului sturionicol (fig. 51).

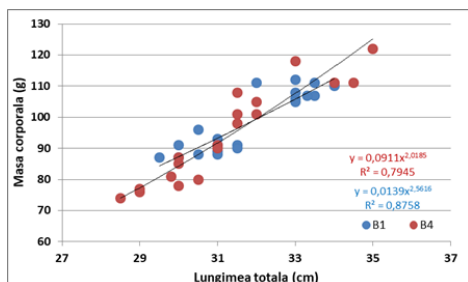


Fig. 50. Curbele și ecuațiile de creștere ale biomasei sturionicole

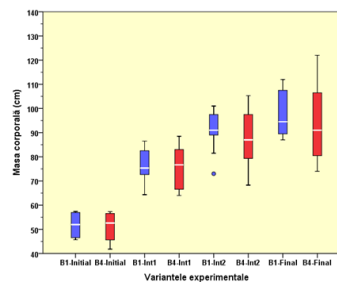


Fig. 51. Dinamica masei corporale a materialului sturionicol de-a lungul perioadei experimentale

Tab. 7. Centralizarea indicatorilor de performanță a creșterii pentru materialul sturionicol folosit pentru realizarea părții experimentale în cadrul etapei 2 a proiectului

Indicatori tehnologici	Perioada experimentală	Variante experimentale			
		B1 (SH)	B4 (SA)	B2 (SH)	B3 (SA)
Nr exemplare	Initial - Final	20			
Durata perioadei experimentale (zile)	Initial - Int.1	15			
	Int.1 - Int.2	7			
	Int. 2 - Final	8			
Supraviețuirea (%)	Initial - Final	100			
Biomasa totală (g)	Initial	1034,80	1021,50	383,0	385,5
	Int.1	1532,86	1509,52	708,3	682,1
	Int.2	1815,00	1752,80	981,8	934,6
	Final	1968,00	1888,40	1195,2	1068,4
Masă corporală medie (g/ex)	Initial	51,74±6,0 7	51,08±7,07	19,15±3,87	19,28±4,07
	Int.1	76,64±7,7 3	75,48±10,1 4	35,42±8,26	34,11±9,67
	Int.2	90,75±8,5 7	87,64±11,4 6	49,09±13,2 6	46,73±15,2 9
	Final	98,40±9,7 7	94,42±15,1 9	59,76±14,7 4	53,42±15,2 1
Lungimea corporală medie (cm/ex)	Final	31,8±1,4	31,3±1,9	26,31±3,35	25,82±2,73
Densitatea de stocare (kg/m2)	Initial	0,31	0,30	0,11	0,11
	Int.1	0,45	0,45	0,21	0,20

	Int.2	0,54	0,52	0,29	0,28
	Final	0,58	0,56	0,35	0,32
<i>Spor total de creștere (g)</i>	Initial - Int.1	498,06	488,02	325,33	296,64
	Int.1 - Int.2	282,14	243,28	273,48	252,46
	Int. 2 - Final	153,00	135,60	213,38	133,80
	Initial-Final	933,20	866,90	812,20	682,90
<i>Spor individual de creștere (g/ex)</i>	Initial - Int.1	24,90	24,40	16,27	14,83
	Int.1 - Int.2	14,11	12,16	13,67	12,62
	Int. 2 - Final	7,65	6,78	10,67	6,69
<i>Spor de densitate al biomasei (kg/m2)</i>	Initial - Int.1	0,15	0,14	0,10	0,09
	Int.1 - Int.2	0,08	0,07	0,08	0,07
	Int. 2 - Final	0,05	0,04	0,06	0,04
<i>Ritm zilnic de creștere (g/zi)</i>	Initial - Int.1	33,20	32,53	21,69	19,78
	Int.1 - Int.2	40,31	34,75	39,07	36,07
	Int. 2 - Final	19,13	16,95	26,67	16,73
<i>Rata relativă de creștere(g/g/zi)</i>	Initial - Int.1	0,032	0,032	0,057	0,051
	Int.1 - Int.2	0,026	0,023	0,055	0,053
	Int. 2 - Final	0,011	0,010	0,027	0,018
<i>Cantitatea totală de hrană distribuită (g)</i>	Initial - Int.1	228,46	220,97	132,44	135,39
	Int.1 - Int.2	141,82	139,86	81,90	83,86
	Int. 2 - Final	101,3	99,9	58,50	59,90
	Initial-Final	471,58	460,73	272,84	279,15
<i>Proteină brută din furaj (%)</i>		56	56	56,00	56,00
<i>Rata specifică de creștere- SGR (%BW/zi)</i>	Initial - Int.1	2,62	2,60	4,10	3,80
	Int.1 - Int.2	2,41	2,13	4,66	4,50
	Int. 2 - Final	1,01	0,93	2,46	1,67
<i>Factorul de conversie a hranei - FCR (g furaj / g spor biomasă)</i>	Initial - Int.1	0,46	0,45	0,41	0,46
	Int.1 - Int.2	0,50	0,57	0,30	0,33
	Int. 2 - Final	0,66	0,74	0,27	0,45
	Initial-Final	0,51	0,53	0,34	0,41
<i>Coeficientul de eficiență proteică - PER (g/g)</i>	Initial - Int.1	3,89	3,94	4,39	3,91
	Int.1 - Int.2	3,55	3,11	5,96	5,38
	Int. 2 - Final	2,70	2,42	6,51	3,99
<i>Coeficient de variație a masei corporale - CVw (%)</i>	Initial	11,73	13,84	20,22	21,12
	Int1	10,08	13,44	23,31	28,36
	Int.2	9,45	13,07	27,02	32,73
	Final	9,93	16,09	24,66	28,47
<i>Coeficient de variație a lungimii corporale- CVL (%)</i>	Final	4,36	5,93	12,74	10,57

Din analiza performanței de creștere a biomasei de busuioc se poate concluziona faptul că substratul SA asigură o creștere sporită a biomasei, în condițiile utilizării modulului

imagistic (Fig.52). Cu toate acestea, în condițiile unui posibil scenariu de apariției a eventualelor deficiențe nutriționale necorectate în timp util, utilizarea SH este recomandată datorită capacității acestuia de a reține apa o perioadă mai îndelungată, prelungind astfel timpul hidraulic de retenție și asigurând condiții mai bune de absorbție a nutrienților în condiții limitative de calitate a apei.

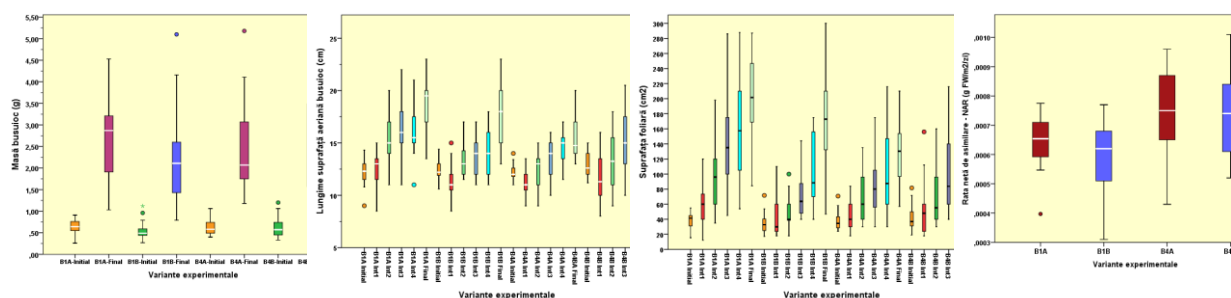


Fig. 52. Indicatori ai performanței de creștere a biomasei de busuioc, în regim acvaponic

Dinamica ratei de retenție a nutrienților (fig.53) scoate în evidență abilitatea SH de a asigura o retenție superioară a nutrienților, comparativ cu SA. Cu toate acestea, prezența SA facilitează absorbția nutrienților de către biomasa de busuioc, fapt confirmat în contextul raportării rezultatelor înregistrate la B4B la cele consemnate în dreptul variantei martor (B4C – fără plante, doar substrat SA). De asemenea, în variantele cu busuioc, procesul de bioremediere poate fi accelerat de prezența rizosferei, ideală suprafață specifică pentru bacteriile nitrificatoare. În timp, prezența rizosferei poate contribui, de asemenea, la maximizarea procesului mecanic de filtrare, aceasta captând reziduurile metabolice fine.

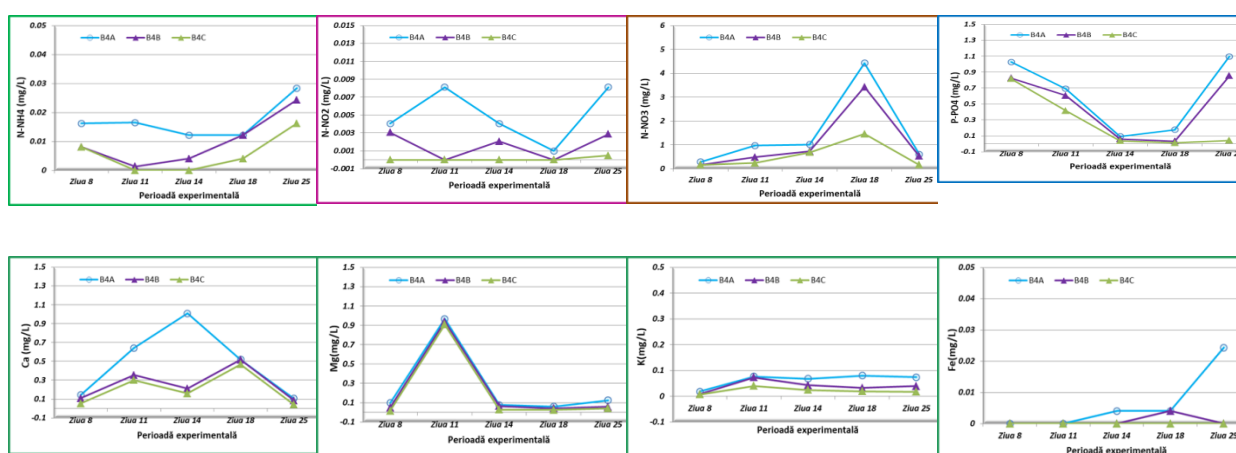


Fig. 53. Dinamica ratei de retenție a nutrienților la nivelul unităților acvaponice

Datele de calitate a apei înregistrate la nivelul sistemului integrat au fost folosite pentru generarea unor modele matematice, folosind algoritmi de machine learning, mai precis Random Forrest. Astfel, conform *feature importance*, concentrația de Ca este influențată de concentrația de Fe (R-sq 0,601; RMSE 0,936), concentrația de Fe este influențată de cea de K,

Ca și N-NO_3 (R-sq 0,824; RMSE 0,024), concentrația de K este influențată de cea de N-NO_2 (R-sq 0,589; RMSE 0,869), concentrația de N-NH_4 este influențată de cea de N-NO_2 (R-sq 0,583; RMSE 0,035), concentrația de P este influențată de cea de N-NO_2 și N-NO_3 (R-sq 0,542; RMSE 1,392) și concentrația de N-NO_3 este influențată de cea de Fe (R-sq 0,534; RMSE 2,571).

Prezența sistemului imagistic permite implementarea *algoritmului pentru determinarea deficiențelor la nivelul biomasei de busuioc*. Multitudinea posibilelor deficiențe și semne pe care le produc sunt greu de detectat pentru rețelele neuronale. Într-o primă încercare de detecție a deficiențelor, am încercat aplicarea unor histograme asupra unor frunze (normale și cu deficiențe – baza de date alcătuită în cadrul raportului 3 din prezenta raportare de etapă) și compararea rezultatelor pentru a observa diferențele de culoare prezente. În fig. 54 se poate observa că în fiecare histogramă nivelurile pentru cele 3 dimensiuni ale spațiului de culori diferă în funcție de aspectul frunzei pe care o avem. Interpretând aceste rezultate și găsind o regulă a valorilor, se poate determina deficiența exactă a plantelor.

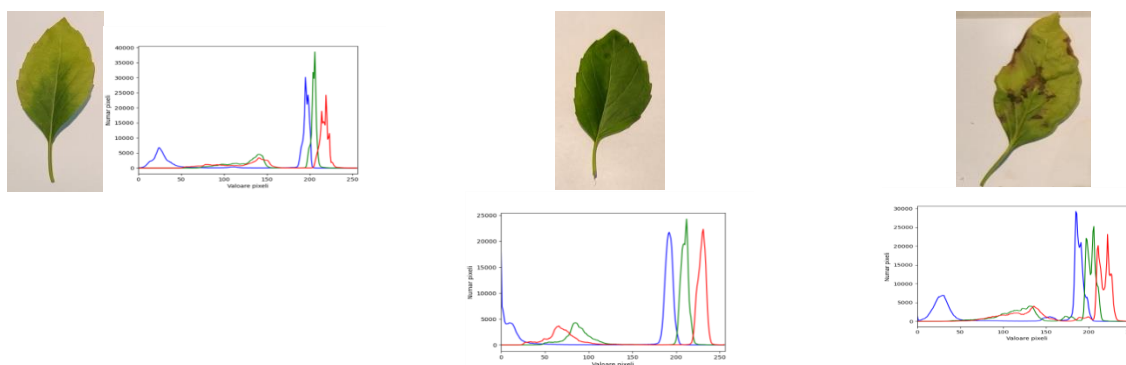


Fig. 54. Histograme de culoare realizate diverselor categorii de Frunze

Prin aplicarea acestei metodologii s-a identificat un posibil scenariu de deficiență de Fe, înregistrat de-a lungul perioadei experimentale. Acesta a fost înregistrat în ultima săptămână a perioadei experimentale și a fost corectat cu adaos de Fe chelat. Acest scenariu scoate în evidență caracterul limitativ al Fe la nivelul sistemelor acvaponice și evidențiază utilitatea sistemului imagistic de observație a biomasei vegetale.

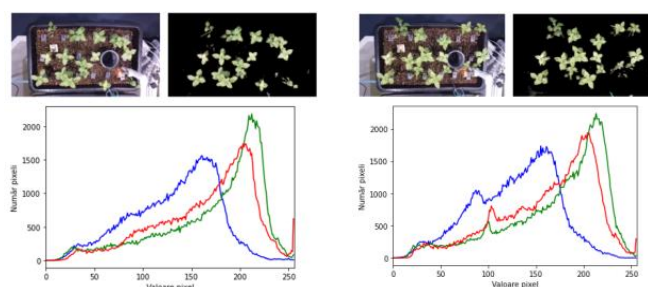


Fig. 55. Deficiență de Fe la nivelul sistemului acvaponic

Modulul imagistic de observație a biomasei sturionice a consemnat dinamica creșterii materialului sturionicol de-a lungul perioadei experimentale (tab. 8)

Validarea rezultatelor: Cântărirea *in situ* a biomasei sturionice relevă următoarele procente de creștere: 50,35% (06-17.11.2021), 18,04% (17-24.11.2021), 1,18% (24-30.11.2021). Procentele de creștere aferente LAB sunt de 32,74% (17-24.11.2021) și 1,84% (24-30.11.2021). Astfel, modelele liniare de corecție în cazul folosirii LAB devin $y = x - 14,7$ (17-24.11.2021), respective $y = x - 0,6644$

Tab. 8. Indicele de suprafață a materialului sturionicol - LAB reprezintă calculul efectuat cu masca de la spațiul de culori, NN reprezintă calculele efectuate cu masca de la rețeaua neuronală

Data	B4			
	LAB		NN	
	Exemplare	AVG	Exemplare	AVG
06-11-2021	2565	4295.48	2564	2414.40
17-11-2021	2251	2917.05	2253	4152.44
24-11-2021	2244	3872.17	2250	4889.30
30-11-2021	2232	3943.76	2233	5158.57

Indicele de suprafață și înălțimea biomasei de busuioc detectate folosind modulul imagistic de observație, sunt prezentate în tab.9. *Validarea rezultatelor:* Biomasa vegetală din cadrul A a înregistrat variații procentuale în ceea ce privește lungimea maximă a tijeii busuiocului: - 3,57% (perioada 5-15.11), 11,11% (15-18.11), 6,66% (18-22.11), 6,25% (22-25.11), 17,64%(25-30.11). Variațiile procentuale reliefate de datele prezentate în cadrul tab.8 sunt următoarele 6,66% (perioada 5-15.11), 12,5 (15-18.11), 13,88% (18-22.11), 2,43% (22-25.11), 57,14%(25-30.11). Se identifică următoarele modele liniare de corecție: $y = x - 28,16$ (18-22.11), $y = x - 31,31$ (22-25.11), $y = x - 16,28$ (25-30.11).

Tab.9. Indicele de suprafață și înălțimea biomasei de busuioc

Data	B4									
	A					B				
	înălțime		suprafata			înălțime		suprafata		
		0.86	nr. pixeli	avg	(0.86-avg)*nr. pixeli		0.86	nr. pixeli	avg	(0.86-avg)*nr. pixeli
05-11-2021	0.77	0.09	25840	0.80	1509.23	0.76	0.10	27054	0.79	1838.60
15-11-2021	0.75	0.11	45519	0.80	2709.23	0.74	0.12	52042	0.79	3383.23
18-11-2021	0.74	0.12	58755	0.79	3911.77	0.70	0.16	71300	0.77	6705.98
22-11-2021	0.64	0.22	64506	0.77	5526.64	0.71	0.15	84082	0.78	6926.08
25-11-2021	0.69	0.17	75139	0.77	6537.19	0.62	0.24	85966	0.77	7832.31
30-11-2021	0.68	0.18	90997	0.76	8953.51	0.62	0.24	89276	0.76	9264.76

Biomasa vegetală din cadrul A a înregistrat următoarele variații procentuale: 15,94 % (perioada 5-15.11), 56,14% (15-18.11), 18,73% (18-22.11), 26,61% (22-25.11), 24,70% (25-30.11). Variațiile procentuale reliefate de datele prezentate în cadrul tab.9 sunt următoarele 20,20% (perioada 5-15.11), 39,28% (15-18.11), 37,98% (18-22.11), 22,53% (22-25.11), 19,13% (25-30.11). Se identifică următoarele modele liniare de corecție: $y = x + 15,94$ (perioada 15-18.11); $y = x + 56,14$ (18-22.11), $y = x - 18,73$ (2-25.11), $y = x + 26,61$ (25-30.11). *Validarea rezultatelor:* Biomasa vegetală din cadrul B a înregistrat variații procentuale în ceea ce privește lungimea maximă a tije busuiocului: -22,22% (perioada 5-15.11), 9,09% (15-18.11), 83,33% (18-22.11), -22,72% (22-25.11), 5,88%(25-30.11). Variațiile procentuale reliefate de datele prezentate în cadrul tab.9 sunt următoarele 20% (perioada 5-15.11), 33,33 (15-18.11), -6,25% (18-22.11), 60% (22-25.11), 0%(25-30.11). Se identifică următoarele modele liniare de corecție: $y = x - 2,22$ (5-15.11), $y = x + 24,24$ (15-18.11), $y = x - 89,58$ (18-22.11), $y = x + 82,72$ (25-30.11). Biomasa vegetală din cadrul B a înregistrat următoarele variații procentuale: 79,51 % (perioada 5-15.11), 44,38% (15-18.11), 41,28% (18-22.11), 18,28% (22-25.11), 36,96%(25-30.11). Variațiile procentuale reliefate de datele prezentate în cadrul tab.9 sunt următoarele 84,01% (perioada 5-15.11), 98,21% (15-18.11), 3,28% (18-22.11), 13,08% (22-25.11), 18,28% (25-30.11). Se identifică următoarele modele liniare de corecție: $y = x + 4,5$ (perioada 5-15.11); $y = x + 53,82$ (15-18.11), $y = x - 38$ (18-22.11), $y = x - 5$ (22-25.11), $y = x - 5,88$ (25-30.11).

Analiza cost-beneficiu per unitate integrată: Cost investiție modul observație biomasă piscicolă = 1910,74lei(camera Intel)+529lei (microcontroller RPi)+38,5lei(carcasa)+71,5lei(alimentator RPi)+238lei(perete separare) + 69lei (SSD)= 2856,74 lei; Cost investiție modul observație biomasă vegetală = 1910,74lei(camera Intel)+ 2x529lei(microcontroller RPi)+194,14lei (cameră V2) +359,71lei (camera HQ)+ 2x38,5lei (carcasă) + 2x71,5lei (alimentator RPi) + 8 lei (suport camere) + 2x69lei (SSD) =3888,59lei; Cost operational = se estimează o economie de cost operational de 4 ore pe zi (20 lei x 4 ore = - 80 lei) = -2400 lei, Consum energie electrică = 0,43 kw (microcontrolere)+0,048 kw (camera) = 0,478 kwh = 89,48lei/lună; spor producție – producția crește cu 0,94%, dar calitatea produselor vegetale este net superioară. = 0,8 kg/m² busuioc verde x 8 cicluri per an x 4m² = 25,6 kg x 50 lei /kg = 1280 lei. Venituri = Economie cost operațional(28800lei) + venituri din vânzarea busuiocului (aprox o creștere de 380lei datorită calității superioare a produsului)= 29180 lei; Costuri = Cost investiție + cost operațional= 6834,81lei. Rezultă un profit estimat de 22345,19lei.