

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

C.Z.U.: 637.344.8:577.112:66.087:544.6(043.2)

PALADII IRINA

**FRAȚIONAREA PROTEINELOR SERICE LA ELECTROACTIVAREA
ZERULUI**

253.05. Procese și Aparat în Industria Alimentară

Rezumatul tezei de doctor în științe ingineresti

CHIȘINĂU 2026

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Inginerie Mecanică, Școala Doctorală UTM.

Conducător/Consultant științific:

ȚISLINSKAIA Natalia, dr., conf. univ.

acad., dr. hab., prof. univ, BOLOGA Mircea (IFA, USM)

dr. hab., prof. univ, BERNIC Mircea (UTM)

Referenți oficiali:

STURZA Rodica, m. c. AȘM, dr. hab., prof. univ., UTM

CECLU Liliana, dr. conf. univ., Universitatea de Stat "Bogdan Petriceicu Hasdeu", din Cahul

NISTOR Ileana Denisa, dr. hab., prof. univ., Universitatea Vasile Alecsandri din Bacău, România

Componența comisiei de doctorat:

1. GHENDOV-MOȘANU Aliona, președinte, doctor habilitat, conferențiar universitar, UTM
2. ȚISLINSKAIA Natalia, membru, doctor, conferențiar universitar, UTM
3. STURZA Rodica, referent, doctor habilitat, profesor universitar, UTM
4. CECLU Liliana, dr. conf. univ., Universitatea de Stat "Bogdan Petriceicu Hasdeu", din Cahul
5. NISTOR Ileana Denisa, dr. hab., prof. univ., Universitatea Vasile Alecsandri din Bacău, România

Susținerea va avea loc la 12 martie ora 14⁰⁰ în ședința Comisiei de doctorat din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, FTA, str. Studenților 9/9, blocul de studii nr. 5, aud. Aula 5-I MD-2045, Chișinău, Republica Moldova. Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC (www.anacip.md).

Rezumatul a fost expediat la 02.02.26

Conducător științific,
ȚISLINSKAIA Natalia, dr., conf. univ.

Autor
PALADII Irina



© Paladii Irina, 2026

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII	3
CONȚINUTUL TEZEI	8
1. ELECTROACTIVAREA ZERULUI – METODĂ SUSTENABILĂ, CONCEPȚIE, PROCESARE, UTILIZARE ȘI BENEFICII	
2. MATERIALE ȘI METODE	
3. STABILIREA REGIMURILOR OPTIME LA ELECTROACTIVAREA PRODUSELOR LACTATE SECUNDARE CU EXTRAGEREA PROTEINELOR SERICE ÎN CONCENTRATE PROTEICE MINERALE	9
3.1. Electroactivarea zerului în regim periodic	10
3.1.1. Caracterizarea parametrilor electrici la electroactivarea în regim periodic	10
3.1.2. Caracterizarea parametrilor termici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare	11
3.1.3. Caracterizarea parametrilor fizico-chimici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare	11
3.1.4. Caracterizarea parametrilor biochimici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare	11
3.2. Electroactivarea în regim continuu	11
3.2.1. Caracterizarea parametrilor electrici la electroactivarea în regim continuu	12
3.2.2. Caracterizarea parametrilor termici la electroactivarea zerului în regim continuu	12
3.2.3. Caracterizarea parametrilor fizico-chimici la electroactivarea zerului în regim continuu	12
3.2.4. Caracterizarea parametrilor biochimici la electroactivarea zerului în regim continuu	13
4. ELECTROFRAȚIONAREA PROTEINELOR SERICE A ZERULUI ȘI ASPECTELE DE FORMARE A COMPLEXȘILOR PROTEICI	13
4.1. Fraționarea proteinelor serice la electroactivare	14
4.1.1. Electrofracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim periodic	14
4.1.2. Electrofracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim continuu	18
4.2. Aspectele de formare a complexșilor proteici la electroactivarea zerului	20
4.3. Valoarea biologică a concentratelor proteice minerale obținute la electroactivarea zerului	21
4.4. Elaborarea electrolizorului cu fisuri	21
4.5. Schema tehnologică a procesului de obținere a concentratului proteic mineral și a zerului deproteinizat	22
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	23
BIBLIOGRAFIE	26
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI	26
ADNOTARE	32
АННОТАЦИЯ	33
ABSTRACT	34

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Factorii, ce influențează dezvoltarea industrială sunt inovațiile tehnologice, confortul economic și siguranța mediului. În contextul economiei circulare, privind procesarea deșeurilor/produselor secundare tratarea complexă, non-reziduală, este factorul principal, ce satisface cerințele consumatorului, cele guvernamentale și implică inițierea cercetărilor ample, pentru rectificarea anumitor acțiuni tehnologice aplicative [1, 2]. Dezvoltarea durabilă prevede soluționarea problemelor ecologice și sociale, ce impune corporațiilor industriale implementarea tehnologiilor emergente și inovative [3-5].

Actualitatea și importanța temei abordate. Teza prezintă elaborarea unor tehnici și tehnologii de procesare non-reziduală a mediilor disperse, în special, a zerului la electroactivare, ce permite fracționarea proteinelor serice și obținerea concentratelor proteice minerale îmbogățite predeterminat cu anumite fracții proteice, care ulterior pot fi utilizate la fortificarea diferitor produse alimentare prin mărirea valorii adăugate. Necesitatea procesării reziduurilor de proveniență biologică, inclusiv a zerului, considerat produs rezidual, iar după multiple dezbateri, clasificat ca produs lactat secundar, obținut la procesarea primară a laptelui, constă atât în valoarea biologică înaltă a conținutului solid, inclusiv a celui proteic, cât și, din aspect al diminuării poluării mediului ambiant [6]. Până în prezent procesarea non-reziduală a zerului reprezintă o problemă stringentă mondială, datorită faptului că circa 50% din volumul mondial produs se aruncă în apele reziduale, aducând pagube ecologice majore [7-9]. Electroactivarea reprezintă o metodă de activare electrochimică, durabilă de procesare a mediilor disperse, în special, a produselor secundare (zerul, zara, etc.), fiind o alternativă a metodelor convenționale, prezentând avantaj, datorită capacității de a transforma energia electrică în cea chimică [10], permite procesarea non-reziduală a zerului cu recuperarea proteinelor și mineralelor în concentrate proteice minerale și izomerizarea lactozei în lactuloză simultan [11].

Scopul lucrării constă în elaborarea procedeei non-rezidual, ecologic, de fracționare a proteinelor serice, recuperate în concentrate proteice minerale la electroactivarea produselor lactate secundare, stabilirea regimurilor optime, aspectelor de fracționare a proteinelor serice și elaborarea electrolizorului cu diafragmă pentru electroactivarea zerului.

Obiectivele specifice sunt: studiul procedeei și metodelor de tratare și fracționare a proteinelor serice din produse lactate secundare, argumentarea selectării metodei de electroactivare a diferitor tipuri de zer; stabilirea regimurilor optime de procesare la electroactivarea produselor lactate secundare: forma geometrică a electrolizoarelor și parametrii tehnici și tehnologici; densitatea curentului electric; voltajul; consumul specific de energie pe o unitate de volum; regimul de refulare a lichidului de lucru (zerului) și a lichidului secundar; durata

de procesare; valorile pH și a potențialului redox (E, mV); temperatura; determinarea gradul de extragere a fracțiilor proteice în concentrate proteico-minerale (CPM); stabilirea aspectelor de formare a complexilor proteici în funcție de proprietățile proteinelor serice din zer, recuperate în CPM, elucidarea particularităților de fracționare a lor la diferite regimuri de electroactivare a zerului și determinarea valorii biologice a concentratelor proteice minerale, obținute la electroactivarea zerului; elaborarea electrolizorului cu diafragmă, destinat obținerii CPM îmbogățite cu anumite fracții proteice.

Ipoteza cercetării se axează pe capacitatea proteinelor serice ale zerului de a fracționa diferențiat în dependență de regimurile de electroactivare, ceea ce ar permite recuperarea concentratelor proteice minerale și obținerea unor produse proteice îmbogățite predeterminat, care ar putea fi utilizate în calitate de suplimente alimentare sau pentru fortificarea compoziției alimentelor.

Noutatea și originalitatea științifică constă în stabilirea influenței regimurilor de electroactivare, inclusiv a parametrilor constructivi și geometrici a electrolizoarelor, pentru elaborarea electrolizorului cu fisuri, ce asigură procesarea non-reziduală, ecologică, de fracționare a proteinelor serice ale zerului la recuperarea în concentrate proteice minerale, simultan cu izomerizarea lactozei în lactuloză.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese. Metoda de bază a fost electroactivarea zerului cu diferit conținut solid și proteic în electrolizoare cu diferite forme geometrice și parametri tehnici, la diferite regimuri de procesare, care a permis fracționarea proteinelor serice și recuperarea lor în CPM, ce ulterior au fost analizate cu diferite metode fizico-chimice și biochimice clasice de analiză: gradul de extragere a proteinelor serice din zer în CPM (Q, %) a fost determinat prin metoda Warburg cu spectrofotometrul de tip CΦ-56; determinarea conținutului fracțiilor proteice (Q_p, %) extrase din zer în CPM a fost realizată prin metoda electroforetică SDS-PAGE 15%. Identificarea fracțiilor proteice a fost realizată prin analiza gelurilor cu soft-urile *Phoretix 1D Advans* și *GelAnalyser 19.1*. Valoarea biologică a CPM a fost demonstrată prin analiza conținutului aminoacizilor în concentrate la amino analizatorul AAA-339M (Cehia), ce are la bază metoda cromatografiei cu schimb de ioni, parametrii fizico-chimici (pH, E, mV) au fost înregistrați cu pH-metrul Knick 766.

Importanța teoretică și inovația științifică a lucrării: constă în argumentarea fracționării proteinelor serice conform proprietăților clasice, extrase în CPM, la electroactivarea zerului și influența regimurilor de procesare la gradul de recuperare și îmbogățire a concentratelor obținute cu anumite proteine serice, ce are loc simultan cu electroizomerizarea lactozei în lactuloză. Soluționarea inovației științifice a fost realizată prin identificarea condițiilor optime de fracționare

a proteinelor serice la electroactivarea zerului: argumentarea extragerii variate a conținutului solid și proteic din diferite tipuri de zer în concentrate proteice conform proprietăților fizico-chimice și biochimice; influența factorilor generați la electroactivare, ce inițiază modificarea conținutului proteic extras în concentrate; influența parametrilor constructivi și geometrici a electrolizoarelor la electroactivarea mediilor disperse de proveniență biologică; identificarea mecanismelor de formare a compușilor proteici și a gradului de fracționare a proteinelor serice în concentratele recuperate la electroactivarea zerului; stabilirea parametrilor optimi la elaborarea electrolizorului cu diafragmă.

Semnificația teoretică: în premieră au fost stipulate aspectele fracționării proteinelor serice la electroactivarea produselor lactate secundare în dependență de tipul zerului procesat, forma geometrică și parametrii tehnici a electrolizoarelor elaborate, regimurile de tratare (densitatea curentului electric și regimul de refularea a lichidului de lucru și a celui secundar). Teza a fost realizată în baza cercetărilor și experienței acumulate în cadrul proiectelor naționale și internaționale realizate în Laboratorul Procese Termice și Hidrodinamice, Institutul de fizică Aplicată: **STCU #6011** "Prelucrarea electrofizică a zerului cu obținerea produselor benefice pentru sănătate și protecție a mediului: tehnologie și instalație", (2015-2017); **CSSDT/ANCD/MECC 15.817.02.07A** "Transfer de sarcină, căldură și masă la acționări termoelectrofizice și cavitaționale; elaborări tehnologice și tehnice", (2015 - 2019); **20.80009.5007.06** Program de Stat, "Intensificarea proceselor de transfer și procesare în câmpuri electrice, electromagnetice, cavitaționale; aplicativitatea ", (2020 - 2023); Subprogram **011203** "Cercetarea și dezvoltarea avantajelor electroconvecției, electroactivării, fluidizării magnetice la intensificarea transferului de căldură și procesării", (2024-2027).

Valoarea aplicativă a lucrării: A fost elaborat procedeul de fracționare a proteinelor serice la electroactivarea zerului și stabiliți parametrii tehnici și tehnologici optimi pentru electroactivarea diferitor tipuri de zer. A fost demonstrată fracționarea diferențiată a proteinelor serice din zer în CPM cu izomerizarea simultană a lactozei în lactuloză, și obținute concentrate îmbogățite cu anumite fracții proteice benefice pentru sănătate. A fost elaborat, și brevetat, „Electrolizorul cu fisuri”, cu carcasă semicilindrică și fisuri, care prevede reducerea consumului specific de energie pe o unitate de volum prin excluderea zonelor „moarte”/neeficiente și mărirea suprafeței de activare; majorarea gradului de extragere a fracțiilor proteice în CPM, ce are loc cu izomerizarea simultană a lactozei în lactuloză, precum și schema tehnologică, destinate obținerii CPM cu conținut proteic predeterminat.

Aprobarea lucrării la foruri științifice naționale și internaționale. Rezultatele obținute pe parcursul realizării lucrării au fost prezentate și discutate la 17 conferințe și saloane de inventică naționale și internaționale (Conferința Internațională "Modern Technologies in the Food Industry",

Chişinău (2016, 2018, 2022, 2024); The International Conferences Celebrating 55 Years of Higher Education and 40 Years of Technical Higher Education into "Vasile Alecsandri", Bacau (2016); International Scientific Conference on Microbial Biotechnology, Chişinău (2016); Conferinţa studenţilor, masteranzilor şi doctoranzilor, Chişinău (2021, 2022, 2023, 2024); International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (2019, 2021, 2023); International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture" (2019, 2020, 2023); International Conference Intelligent Valorisation of Agro-Food Industrial Wastes (2021); Conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională „Integrare prin Cercetare şi Inovare” (2024); International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics (2016, 2018, 2024); 9th International Conference “Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chişinău (2017)) şi saloane de invenţie (Salonul Internaţional de Invenţii INVENTCOR (2021, 2022); International Exhibition of Inventions INVENTICA, Iasi, Romania (2020, 2022); Salonul Internaţional de Invenţii şi Inovaţii „Traian Vuia”, Timişoara, România (2020, 2022); European Exhibition of Creativity and Innovation EUROIVENT (2021, 2022); Expoziția Internațională Specializată „INFOINVENT” (2019, 2021); International Fair of Innovation and Creative Education for Youth ICE-USV, Suceava, România (2023); Salonul Internațional de Invenție şi Antreprenoriat Inovativ, Chişinău (2024)).

Publicații la tema tezei. Rezultatele cercetării şi problemele abordate în teză au fost publicate în **52** lucrări ştiinţifice, inclusiv **18** articole ştiinţifice, **3** brevete de invenţie, **9** articole în culegeri şi **22** rezumate la manifestări ştiinţifice naţionale şi internaţionale.

Sumarul capitolelor tezei. Lucrarea este expusă pe **117** pagini dactilografiate şi include următoarele capitole: adnotare în limbile română, rusă şi engleză, introducere, **4** capitole, concluzii şi recomandări, bibliografie cu **343** surse şi **5** anexe. Lucrarea este ilustrată cu **20** tabele şi **114** figuri.

Cuvinte-cheie: electroactivare, electrofracţionare, electrolizoare, produse lactate secundare, zer, proteine serice din zer, fracţii proteice.

CONȚINUTUL TEZEI

1. Electroactivarea zerului – metodă sustenabilă, concepție, procesare, utilizare şi beneficii

Capitolul 1 reprezintă o sinteză a informației din literatura de specialitate referitor la compoziția şi proprietățile fizico-chimice şi biologice ale zerului ca produs lactat secundar. În detaliu, sunt prezentate date ce relevă particularitățile de obținere a zerului, clasificarea şi compoziția chimică. O atenție deosebită este acordată conținutului proteic a zerului şi anume

proteinelor serice a acestui lichid, care au valoarea nutritivă și biologică cea mai înaltă din lactate. În special, este făcută o descriere a structurii acesteea, cu tangență la proprietățile biologice ale lor, analizate aspectele de agregare și acțiunea factorilor fizico-chimici (pH, potențialul redox, temperatură) asupra acestui proces. Sunt descrise mecanismele de izomerizare a lactozei în lactuloză, în special L-A- transformarea și regruparea Amadori, ce permit înțelegerea diferitor aspecte de fracționare a proteinelor serice din zer în diferite condiții de procesare conform proprietăților lor. Sunt analizate metodele de procesare ale zerului, care contribuie la valorificarea tuturor componentelor acestora. Este expusă Caracterizarea principalelor produse proteice din zer și proprietățile funcționale, nutriționale și beneficiile pentru sănătate.

2. Materiale și metode

În capitolul 2 sunt descrise: materialele utilizate pentru cercetare (zerul, lichidul secundar, reagenți și consumabile); modelele experimentale ale electrolizoarelor cu diafragmă; metodologia de obținere a concentratelor proteice minerale; metode fizico-chimice și biochimice utilizate în determinările analitice; metode de identificare a fracțiilor proteice; prelucrarea statistică a datelor experimentale.

Au fost electroactivate trei tipuri de zer cu conținut diferit de proteină (furnizate de Societatea pe acțiuni "JLC", Chișinău, RM): zer cu conținut înalt de proteină (ZCÎP) – zer obținut după fabricarea brânzei granulate "Grăuncior"; zer cu conținut mediu de proteină (ZCMP) – zer obținut după fabricarea brânzei de vaci, cu conținutul de grăsime 5%; zer cu conținut scăzut de proteină (ZCSP) – zer obținut după fabricarea produsului de brânză, cu conținutul de grăsimi 18%.

Au fost elaborate și cercetate diferite electrolizoare cu diafragmă, numite convențional EDP-2, EDP-4, EDP-5, EDC-3 și EDC-pilot, cu anumiți parametri geometrici și cerințe tehnice, ce permit procesarea non-reziduală a zerului, destinate tratării în regim periodic și continuu de refulare a zerului (lichidul de lucru/lichidul catodic (LC)) și lichidului secundar (lichid anodic (LA)). Electrolizoarele au fost elaborate în cadrul Laboratorului Procese Termice și Hidrodinamice, al Institutului de Fizică Aplicată, USM. Electrolizoarele EDP-2, EDP-4 și EDP-5, (Fig. 2.2 A, 2.3), au fost elaborate sub formă de paralelipiped, iar electrolizoarele EDC-3 și EDC-pilot (Fig. 2.2 B), conțin carcasă dielectrică semicilindrică cu celulele anodului și catodului, membrană, amplasată pe carcasă semicilindrică (Tab. 2.1).

Tabelul 2.1. Parametrii constructivi a electrolizoarelor

	EDP-2	EDP-4	EDP-5	EDC-3	EDC-pilot
Distanța C-A, l_1 (mm)	18	18	5	30	30
Distanța C-M, l_2 (mm)	10	10	2,5	15	10
Distanța M-A, l_3 (mm)	8	8	2,5	15	10
V/S, mL/cm²	1,4	1,0	0,3	2,0	0,75
l_1 –distanța catod (C) și anod (A); l_2 – distanța catod (C) și membrană (M); l_3 – distanța membrană (M) și anod (A)					

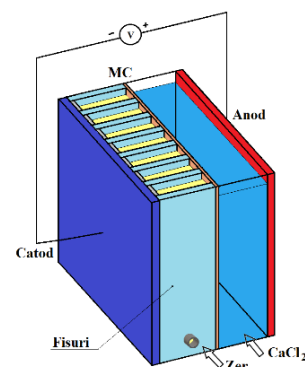
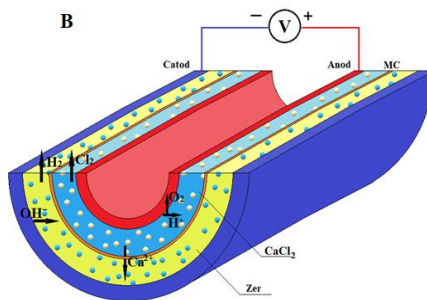
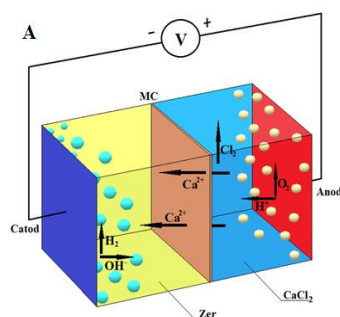


Fig. 2.2. Schema electrolizoarelor cu diafragmă: A – EDP-2 și EDP-4;
B – EDC-3 și EDC-pilot

Fig. 2.3. Schema electrolizorului cu diafragmă și fisuri EDP-5

3. Stabilirea regimurilor optime la electroactivarea produselor lactate secundare cu extragerea fracțiilor proteice în concentrate proteice minerale

În Capitolul 3 s-a cercetat: electroactivarea zerului în regim periodic și continuu cu stabilirea parametrilor optimi principali în dependență de zerul procesat în electrolizoarele elaborate cu diferite forme geometrice (cu carcasă sub formă de paralelipiped sau semicilindrică) și parametri tehnici și tehnologici (distanța între electrozi, tipul membranei utilizate, conținutul solid al zerului inițial, volumul zerului procesat (respectiv raportul V/S , mL/cm^2), concentrația ionilor de calciu $v(\text{Ca}^{2+})$, mol în lichidul secundar (anodic)). S-au determinat particularitățile extragerii CPM în dependență de caracteristicile parametrilor: electrici (voltajul U, V ; consumul specific de energie pe o unitate de volum A_{SV} , $W \cdot h/\text{mL}$), termici, fizico-chimici (pH, potențialul redox E , mV), biochimici (gradul de extragere a proteinelor serice în CPM, $Q, \%$) la electroactivarea în regim periodic și continuu a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare.

3.1. Electroactivarea zerului în regim periodic.

Procesarea în regim periodic de refulare a zerului și a lichidului anodic are ca scop evidențierea reacțiilor multiple, ce au loc la electroactivarea tuturor componentelor din conținutul solid al zerului, influențate atât de factori externi (parametri electrici), cât și de interacțiunile interne generate la acțiunea câmpului electric, ce se manifestă diferit la tratarea în diferite electrolizoare a diferitor tipuri de zer.

3.1.1. Caracterizarea parametrilor electrici la electroactivarea în regim periodic

Parametrii electrici principali la electroactivarea zerului sunt densitatea curentului electric, care se menține constantă pe durata procesării $j=10$ și $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$, însă variază voltajul (U , V), care indică conductibilitatea mediului procesat. Variația voltajului, a consumului de energie și a consumului specific de energie pe o unitate de volum (A_{SV} , $W \cdot h/\text{mL}$) în procesul de electroactivare

a trei tipuri de zer ZCÎP, ZCMP și ZCSP, în regim periodic de refulare a zerului și a LA, la densitatea curentului electric de 10 și 20mA/cm² în diferite electrolizoare, depinde de volumul zerului procesat, parametrii constructivi/geometrici (cu carcasă sub formă de paralelipiped sau semicilindrică), conținutul solid al zerului inițial și de concentrația ionilor de calciu a lichidului secundar. Consumul specific de energie sumat pe o unitate de volum, la electroactivarea zerului, în regim periodic de tratare la densitatea curentului electric 10 și 20mA/cm² în diferite electrolizoare indică rezonabilitatea utilizării electrolizorului EDC-3 (Fig. 3.1-3.3).

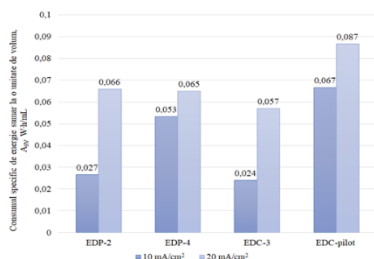


Fig. 3.1. Consumul specific de energie sumat la o unitate de volum, A_{sv} (W·h/mL), la electroactivarea ZCÎP, în diferite electrolizoare, la densitățile curentului electric 10 și 20mA/cm²

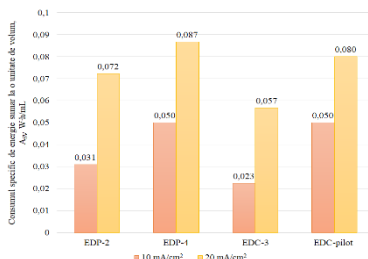


Fig. 3.3. Consumul specific de energie sumat la o unitate de volum, A_{sv} (W·h/mL), la electroactivarea ZCMP, în diferite electrolizoare, la densitățile curentului electric 10 și 20mA/cm²

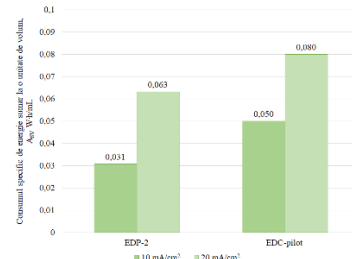


Fig. 3.4. Consumul specific de energie sumat la o unitate de volum, A_{sv} (W·h/mL), la electroactivarea ZCSP, în diferite electrolizoare, la densitățile curentului electric 10 și 20mA/cm²

3.1.2 Caracterizarea parametrilor termici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare

Proteinele serice ale zerului au un prag de denaturare termică de 55-60°C, iar extragerea lor în concentratele proteice necesită respectarea anumitor regimuri de procesare. Electroactivarea diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare necesită gestionarea corectă a regimurilor de procesare, care este provocată de încălzirea Joule, dependentă de conductibilitatea mediului tratat și generează formarea a două faze: faza spumoasă și lichidă, ce a permis înregistrarea temperaturii în faza lichidă (t_L,°C) și faza spumoasă (t_S,°C). Electroactivarea diferitor tipuri de zer, în electrolizoarele elaborate cu diferiți parametri constructivi/geometrici la diferite regimuri de procesare, nu permite denaturarea termică a proteinelor serice la extragerea lor în CPM, astfel, procesul, face posibilă obținerea unor produse proteice de calitate.

3.1.3 Caracterizarea parametrilor fizico-chimici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare

Valorile parametrilor fizico-chimici principali – pH și potențialului redox E, (mV) – la electroactivarea diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare cu diferiți parametri constructivi/geometrici variază datorită reacțiilor caracteristice procesului de disociere a apei în celula catodului și a anodului la suprafața electrozilor și caracterizează modificările fizico-chimice și biochimice ale zerului. Variația valorilor pH și a potențialului redox, demonstrează influența

conținutului solid și a celui proteic la electroactivarea diferitor tipuri de zer în electrolizoare cu diferite forme geometrice și parametri tehnici, provocată de trecerea aquacomplexșilor în hidroxocomplexși, generând un șir de modificări inter- și intramoleculare prin activarea tuturor substanțelor din zer.

3.1.4. Caracterizarea parametrilor biochimici la electroactivarea în regim periodic a diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare

Gradul maxim de extragere (Q, %) a proteinelor serice în CPM a fost înregistrat la electroactivarea ZCÎP (78,61% – faza spumoasă și 78,29 – faza lichidă) și ZCMP (75,92% – faza spumoasă și 78,29% – faza lichidă) la densitatea curentului electric $j=10\text{mA/cm}^2$, în electrolizorul cu carcasă semicilindrică EDC-3 (Fig. 3.4, 3.5).

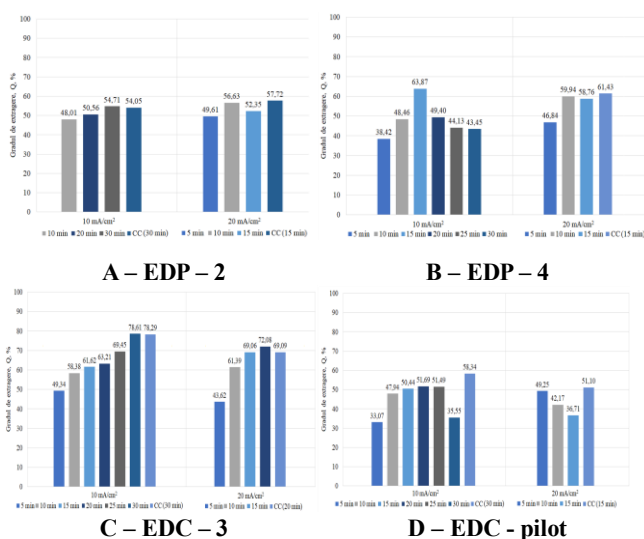


Fig. 3.4. Gradul de extragere (Q, %) a proteinelor serice în CPM la electroactivarea ZCÎP, $j=10\text{--}20\text{mA/cm}^2$ în diferite electrolizoare: A – EDP – 2; B – EDP – 4; C – EDC – 3; D – EDC - pilot

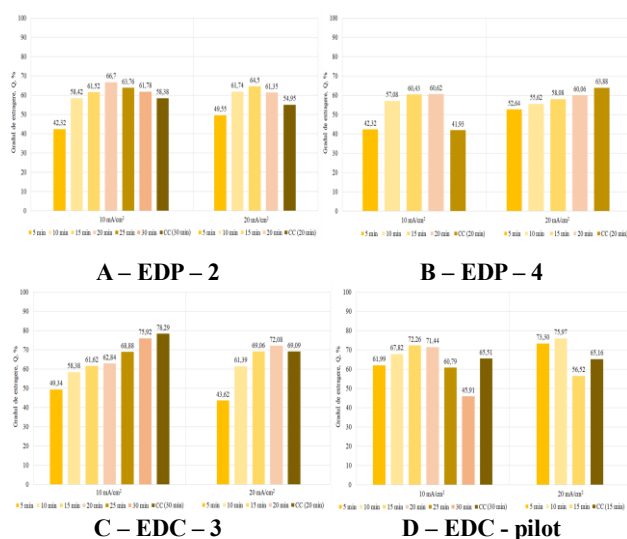


Fig. 3.5. Gradul de extragere (Q, %) a proteinelor serice în CPM la electroactivarea ZCMP, $j=10\text{--}20\text{mA/cm}^2$ în diferite electrolizoare: A – EDP – 2; B – EDP – 4; C – EDC – 3; D – EDC - pilot

Recuperarea proteinelor serice în CPM la electroactivarea diferitor tipuri de zer în este diferită, neomogenă și condiționată, în primul rând, de proprietățile fiecărei fracții în parte și de comportamentul lor la activarea electrochimică, de conținutul solid inițial, în special a celui proteic, de parametrii constructivi/geometrici, de regimurile de procesare, de parametrii electrici, termici, fizico-chimici, ce denotă abordarea individuală a tipurilor de zer în dependență de conținutul solid inițial, care necesită stipularea condițiilor tehnice și tehnologice de tratare.

3.2. Electroactivarea în regim continuu

Electroactivarea zerului în regim continuu a fost concepută pentru evidențierea și ajustarea procesării zerului la nivel industrial în baza cercetărilor realizate în regim periodic. Electroactivarea zerului în regim continuu de refulare în celula catodului s-a cercetat în trei

electrolizoare: EDC-3, EDP-2 și EDP-5. Electroliizorul EDP-5 a fost conceput și elaborat cu fisuri. Adaptarea fisurilor are două scopuri: unul tehnic – pentru fixarea membranei eterogene cationice MK-40 și altul tehnologic – mărirea suprafeței de activare, pentru sporirea gradului de extragere a fracțiilor proteice în CPM și, respectiv, reducerea consumului specific de energie pe o unitate de volum. Densitatea curentului electric $j = 20\text{mA/cm}^2$ s-a menținut constantă pe durata procesării.

3.2.1. Caracterizarea parametrilor electrici la electroactivarea în regim continuu

Consumul specific de energie sumat pe o unitate de volum A_{SV} ($\text{W}\cdot\text{h/mL}$) la electroactivarea în regim continuu a ZCMP, în diferite electrolizoare EDP-2, EDC-3 și EDP-5, la densitatea curentului electric 20mA/cm^2 , determină energo-eficiența utilizării fisurilor în EDP-5, însă există impedimente a capacității de prelucrare a acestui electrolizor (dimensiunea fisurilor, configurația geometrică, debitul zerului în CC, concentrația ionilor de calciu în CA) (Fig. 3.6).

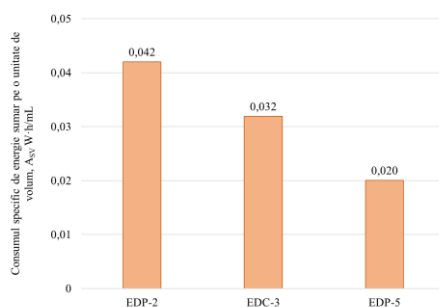


Fig. 3.6. Consumul specific de energie sumat pe o unitate de volum A_{SV} ($\text{W}\cdot\text{h/mL}$) la electroactivarea ZCMP, regim continuu, $j=20\text{mA/cm}^2$, în diferite electrolizoare

3.2.2. Caracterizarea parametrilor termici la electroactivarea zerului în regim continuu

Variația temperaturii $t, ^\circ\text{C}$ la electroactivarea ZCMP, în regim continuu de tratare la densitatea curentului electric 20mA/cm^2 în diferite electrolizoare depinde în mare măsură de consumul specific de energie pe o unitate de volum, rezistența ohmică globală și de debitul zerului pe o unitate de volum inițial, ce duc la încălzirea Joule. Electroactivarea ZCMP în EDC-3 denotă o creștere mai lentă a temperaturii în faza lichidă, datorită reducerii rezistenței ohmice globale, a capacității de procesare mai mare, comparativ cu EDP-2 (carcasă sub formă de paralelipiped) și exclude denaturarea termică a proteinelor serice extrase în CPM. Din punct de vedere tehnic, elaborarea unui electrolizor cu fisuri și carcasă semicilindrică, este rezonabil și în contextul menținerii unei temperaturi joase de procesare și excluderii încălzirii Joule.

3.2.3. Caracterizarea parametrilor fizico-chimici la electroactivarea zerului în regim continuu

Variația parametrilor fizico-chimici (pH, și E, mV) la electroactivarea ZCMP, în regim continuu de tratare la densitatea curentului electric 20mA/cm^2 în diferite electrolizoare, denotă

trecerea aquacomplecșilor în hidroxo-complecși în electrolizorul EDC-3, ce are cea mai mare capacitate de procesare, comparativ cu EDP-2 și EDP-5, unde această trecere practic nu a fost posibilă de identificat (probele au fost colectate la fiecare 5 min), pe motiv, probabil, a trecerii rapide a aquacomplecșilor în hidroxo-complecși.

3.2.4. Caracterizarea parametrilor biochimici la electroactivarea zerului în regim continuu

Electroactivarea ZCMP în regim continuu de refulare a zerului și al lichidului anodic în electrolizoare cu diferite capacități de procesare (EDP-2, EDC-3, EDP-5), a permis extragerea neuniformă a proteinelor serice în CPM. Recuperarea proteinelor serice în CPM la electroactivarea ZCMP în regim continuu de refulare, la $j=20\text{mA/cm}^2$ înregistrează o extragere maximă de circa - circa 70-74% la tratarea în electrolizorul cu carcasă semicilindrică EDC-3 (Fig. 3.7-3.9).

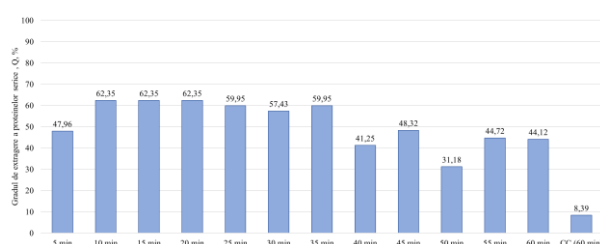


Fig. 3.7. Gradul de extragere Q, % a proteinelor serice (PSZ) în CPM la electroactivarea ZCMP, regim continuu în EDP-2, la $j=20\text{mA/cm}^2$

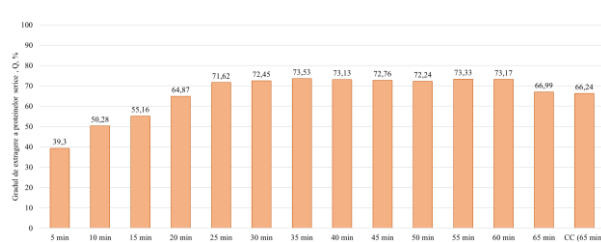


Fig. 3.8. Gradul de extragere Q, % a proteinelor serice în CPM la electroactivarea ZCMP, regim continuu în EDC-3, la $j=20\text{mA/cm}^2$

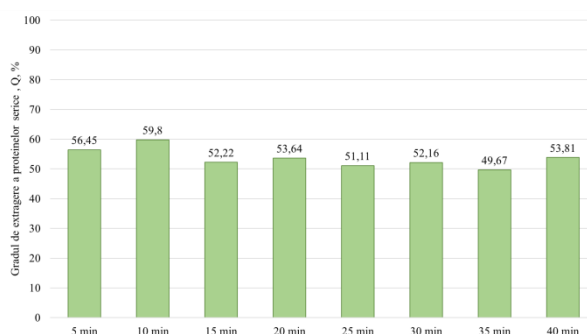


Fig. 3.9. Gradul de extragere Q, % a proteinelor serice în CPM la electroactivarea ZCMP, regim continuu în EDP-5, la $j=20\text{mA/cm}^2$

4. Electrofracționarea proteinelor serice a zerului și aspectele de formare a compușilor proteici

În Capitolul 4 sunt prezentate și analizate rezultate privind: fracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim periodic și continuu în diferite electrolizoare, elaborate cu diferite forme geometrice și parametri tehnici și tehnologici; aspecte de formare a complexelor proteici în rezultatul electroactivării zerului; determinarea valorii biologice a CPM, obținute la electroactivarea zerului. Un compartiment aparte este dedicat elaborării electrolizorului cu fisuri și schemei tehnologice a procesului de obținere a concentratului proteic mineral și a zerului deproteinizat, ce conține lactuloză izomerizată din lactoză.

4.1. Fraționarea proteinelor serice la electroactivare

Electroactivarea zerului, în electrolizoarele cercetate, la diferite regimuri de procesare (periodic și continuu, $j=10$ și 20mA/cm^2) a permis identificarea mai multor fracții proteice, ce au fost separate în patru grupe: proteine cu masă moleculară mare (HWP), în care au fost identificate 2-5 fracții cu variații ale masei moleculare (MM) 54-249 kDa, ce includ albumina serică bovină (BSA) cu MM 66 kDa, lactoperoxidaza (LP) cu MM 78 kDa și lactoferină (LF) cu MM 80 kDa precum și complexe proteice cu MM mare de circa 200-249 kDa; caseinele (CSN), în care au fost identificate 2-3 fracții— α -CSN, β CSN și κ -CSN cu MM respectivă de 37, 33 și 46 kDa; β -lactoglobulina (β -Lg), cu MM 18,2; α -lactalbumina (α -La) cu MM 14,2 kDa.

4.1.1. Electrofracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim periodic

Fraționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în electrolizorul EDP-2.

Electroactivarea diferitor tipuri de zer în EDP-2, raportul V/S – $1,4\text{ mL/cm}^2$, în regim periodic, denotă extragerea maximă a β -Lg în CPM din primele minute de procesare a ZCMP (circa 70%) la $j=10\text{mA/cm}^2$ și recuperarea maximală a α -La în CPM (circa 70%) la electroactivarea ZCSP, $j=20\text{mA/cm}^2$, spre finele procesării (după 20 min de tratare) (Fig. 4.1, 4.2).

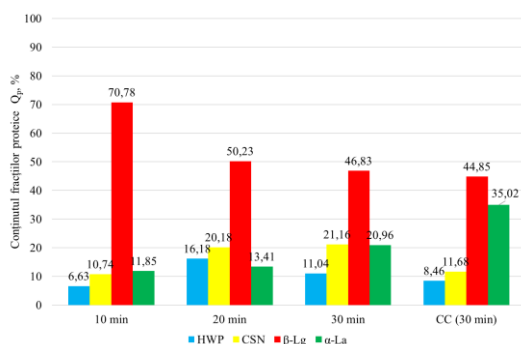


Fig. 4.1. Recuperarea Q_p , % a fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCMP în EDP-2, regim periodic, $j=10\text{mA/cm}^2$

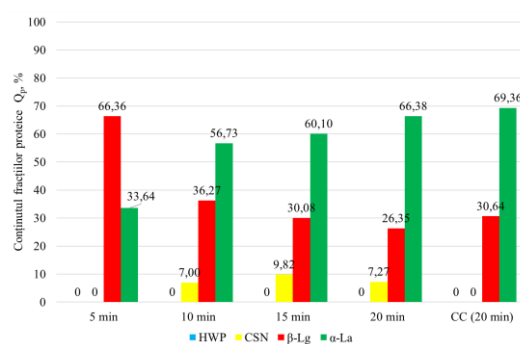


Fig. 4.2. Recuperarea Q_p , % a fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCSP în EDP-2, regim periodic, $j=20\text{mA/cm}^2$

Recuperarea maximală a α -La în CPM (circa 70%) la finele procesării (după 20 min de tratare) are două explicații: prima – afinitatea înaltă față de ionii de Ca^{2+} și alți cationi bivalenți a α -La, facilitează obținerea CPM îmbogățite cu calciu; a doua - α -La este o proteină reglatoare a complexului enzimatic *lactose syntase*, iar concentrația lactozei în lapte este direct legată de conținutul α -La, ceea ce, ipotetic, explică extragerea acestei proteine în CPM spre finele procesării în momentul izomerizării maxime a lactozei în lactuloză după mecanismul regruparea Amadori și crearea condițiilor favorabile de captare a α -La în CPM. Pentru a susține această presupunere, prin metoda polarimetrică, ce permite determinarea compoziției anomerice a lactozei, s-a stabilit, că unghiul de polarizare - α° , descrește pe durata electroactivării, ceea ce indică despre izomerizarea

lactozei în lactuloză, care atinge valori negative spre finele procesării. De exemplu, unghiul de polarizare α° pentru ZCSP, la electroactivarea în EDP-2, regim periodic, la $j=10\text{mA/cm}^2$ este de (-0,08) la 30 min de tratare și (-0,1) pentru conținutul CC, în timp ce valoarea α° a zerului inițial este (4,3). Iar unghiul de polarizare α° pentru același tip de zer la $j=20\text{mA/cm}^2$ este de (-1,0) la 20 min de tratare și (-1,4) pentru conținutul CC.

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în electrolizorul EDP-4. Extragerea proteinelor serice în CPM la electroactivarea în electrolizorul cu diafragmă EDP-4 menține caracterul de electrofracționare similar procesării în EDP-2. Recuperarea proteinelor serice în CPM la electroactivarea în electrolizorul cu diafragmă EDP-4 permite extragerea maximă a β -Lg din primele 5 min de procesare (43,95%-58,79%), urmată de micșorarea cantitativă spre finele tratării. Extragerea α -La, crește pe durata procesării (14,94%-27%). CSN mențin o extragere în limetele 18,30-26,17% practic pe toată durata procesării, iar HWP se extrag neuniform cu maxime cuprinse între (19,56-29,81%).

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în electrolizorul EDC-3. Electrolizorul cu diafragmă și carcasă semicilindrică EDC-3 a fost elaborat pentru mărirea suprafeței de activare și reducerea consumului specific de energie pe o unitate de volum, are raportul $V/S=2,0\text{ mL/cm}^2$, celulele catodului și anodului simetrice, distanțe egale între electrozi și membrană, și o capacitate mai mare de procesare, ce asigură excluderea „zonelor moarte”/neeficiente, comparativ cu electrolizoarele cu carcasă sub formă de paralelipiped. Extragera β -Lg, ca fracție proteică majoră din zer, este maximală (circa 73-92%) din primele minute de procesare în toate configurațiile cercetate, iar α -La are caracter ascendent de acumulare în CPM spre finele tratării (Fig. 4.3).

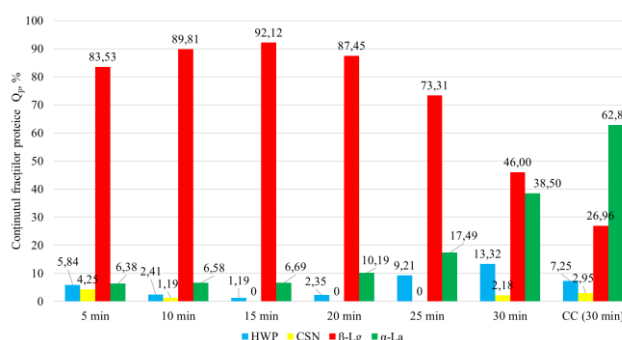


Fig. 4.3. Recuperarea Q_p , % a fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, regim periodic, $j=10\text{mA/cm}^2$

Electroactivarea ZCÎP în electrolizorul cu diafragmă EDC-3, regim periodic, $j=20\text{mA/cm}^2$ a permis fracționarea proteinelor serice și obținerea a două concentrate proteice minerale, numite convențional CPM_1 și CPM_2 , ce diferă prin conținutul proteic. CPM_2 se formează la suprafața

supernatantului (zerului deproteinizat ZD), la separarea în câmpul forțelor masice (centrifugare $G=1500$), iar CPM_1 se sedimentează. CPM_2 se extrage spre finele electroactivării (15-20 min și în conținutul CC la $j=20\text{mA}/\text{cm}^2$), ca rezultat al „capturării” proteinelor serice la legarea cu lipidele din zer, probabil, atât a lipoproteinelor, cât și a proteinelor cu masă moleculară mică ($\beta\text{-Lg}$, $\alpha\text{-La}$), dar și a peptidelor care se formează în urma hidrolizei proteinelor serice la acest regim de procesare (Fig. 4.4, 4.5).

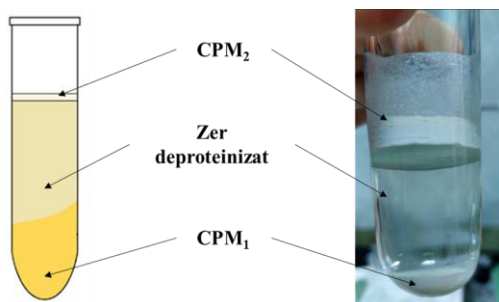


Fig. 4.4. Formarea a două concentrate proteice minerale, numite convențional - CPM_1 și CPM_2

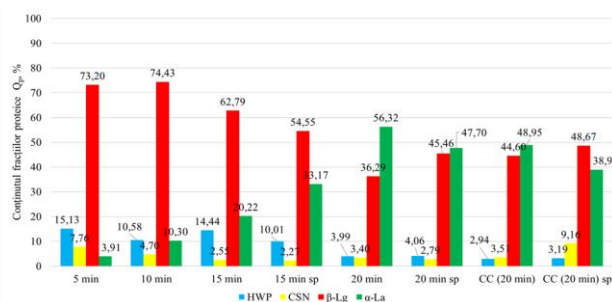


Fig. 4.5. Recuperarea Q_p ,% a fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, regim periodic, $j=20\text{mA}/\text{cm}^2$

Electroactivarea diferitor tipuri de zer în electrolizorul cu carcasă semicilindrică EDC-3, regim periodic, menține caracterul electrofracționării proteinelor serice majore și permite obținerea a două concentrate proteice minerale, numite convențional – CPM_1 și CPM_2 , ce diferă prin conținutul proteic, unde CPM_2 se extrage spre finele electroactivării.

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în electrolizorul EDC-pilot.

Electroactivarea zerului în EDC-pilot, care diferă de restul configurațiilor cercetate, la regim periodic, $j=10$ și $20\text{mA}/\text{cm}^2$, rezultă cu extragerea diferențiată a fracțiilor proteice majore în funcție de zerul inițial utilizat. Procesarea zerului cu conținut înalt de proteină (ZCÎP) în EDC-pilot a permis extragerea maximă în CPM a $\beta\text{-Lg}$ (circa 73-76%) în primele minute ale tratării, iar $\alpha\text{-La}$ (circa 40%, care are cu caracter ascendent) – spre finele procesării (Fig. 4.6).

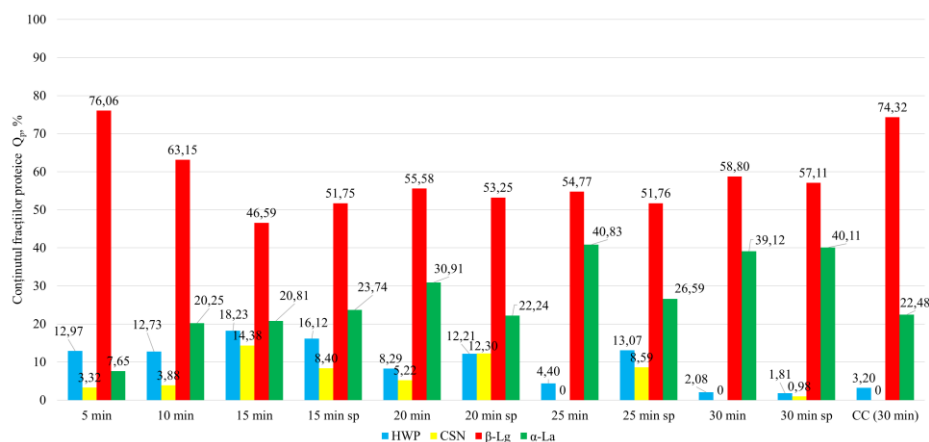


Fig. 4.6. Recuperarea Q_p ,% fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-pilot, regim periodic, $j=10\text{mA}/\text{cm}^2$

Electroactivarea ZCMP și ZCSP, în EDC-pilot, regim periodic, $j=10\text{mA}/\text{cm}^2$ a relevat extragerea intensă a α -La din primele minute de procesare (15-20 min) atât la analiza procentuală, cât și cea cantitativă (Fig. 4.7, 4.8).

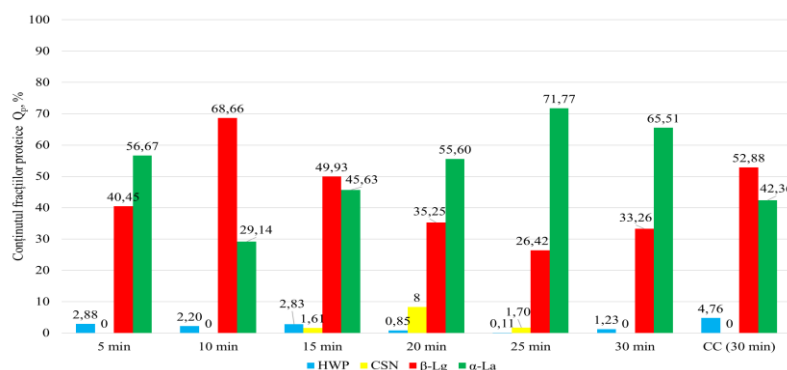


Fig. 4.7. Recuperarea Q_p , % fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCMP în EDC-pilot, regim periodic, $j=10\text{mA}/\text{cm}^2$

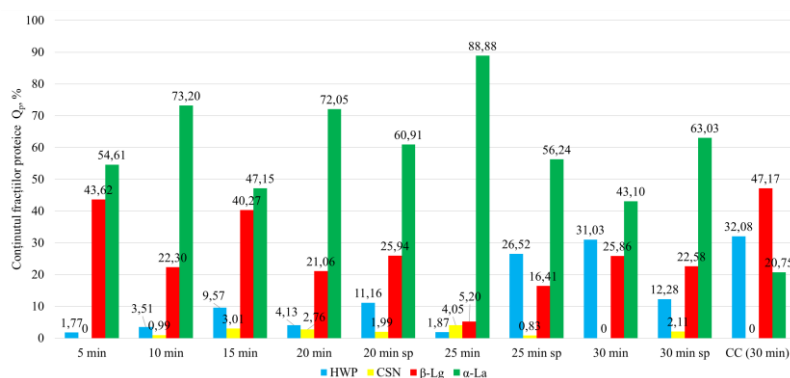


Fig. 4.8. Recuperarea Q_p , % fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCSP în EDC-pilot, regim periodic, $j=10\text{mA}/\text{cm}^2$

Extragerea mai intensă a α -La în CPM din primele 5 minute de procesare, la electroactivarea zerului în electrolizorul cu diafragmă EDC-pilot, a determinat cercetarea în aceleași condiții a soluției de lactoză pură (4%), pentru a explica izomerizarea lactozei în lactuloză după mecanismul L-A-transformarea și asocierea acestui proces cu dinamica recuperării α -La. Cercetarea izomerizării lactozei în lactuloză a soluției de lactoză pură (4%) a permis identificarea formării unui complex între lactuloza izomerizată și ionii de calciu. La electroactivarea zerului, se creează condiții favorabile de formare mai intensă a complexului dintre ionii de calciu și lactuloză conform mecanismului LA-transformarea. Cercetările prezentate demonstrează importanța cantității ionilor de Ca^{2+} în dependență de parametrii geometrici a electrolizoarelor utilizate, precum și posibilitatea ajustării concentrației necesare a ionilor de Ca^{2+} în lichidul anodic, care în consecință influențează izomerizarea lactozei în lactuloză, atât după mecanismul LA-transformarea, cât și după regruparea Amadori.

4.1.2. Electrofracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim continuu

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului în regim continuu de refulare a lichidului de lucru (a zerului) și a lichidului secundar (lichidul anodic) a fost cercetată în 2 electrolizoare: EDP-2 și EDC-3. Aceste electrolizoare au fost selectate după configurația geometrică: EDP-2 cu carcasă sub formă de paralelipiped și un consum specific de energie pe o unitate de volum mai redus, comparativ cu EDP-4; EDC-3 – cu carcasă semicilindrică și capacitatea de procesare mai mare, dar un consum specific de energie pe o unitate de volum mai mică comparativ cu EDC-pilot, indicând eficiența utilizării electrolizorului EDC-3 în regim periodic de procesare (Fig. 3.2). În regim continuu a fost cercetat ZCMP, ce se obține în cantități mari la procesarea primară a laptelui.

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea în regim continuu de refulare a zerului în electrolizorul EDP-2. Electroactivarea ZCMP, în EDP-2, regim continuu, $j=20\text{mA/cm}^2$, a permis recuperarea maximă β -Lg în CPM pe toată durata procesării. α -La, HWP și CSN, la fel, se extrage neomogen (Fig. 4.9).

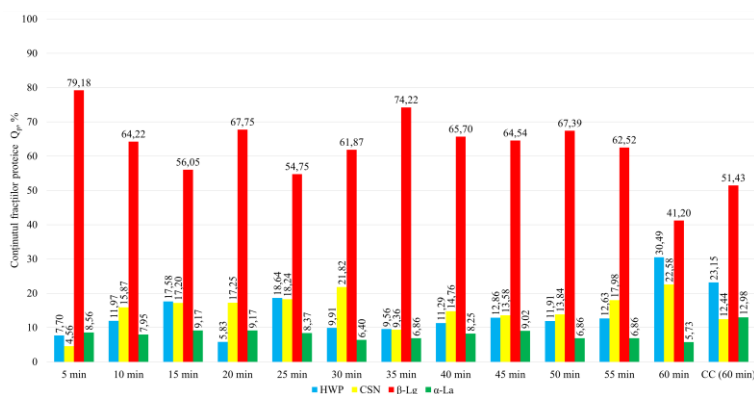
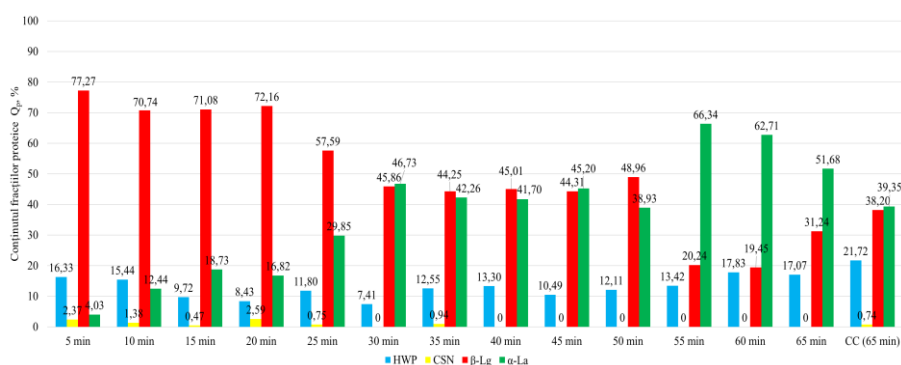


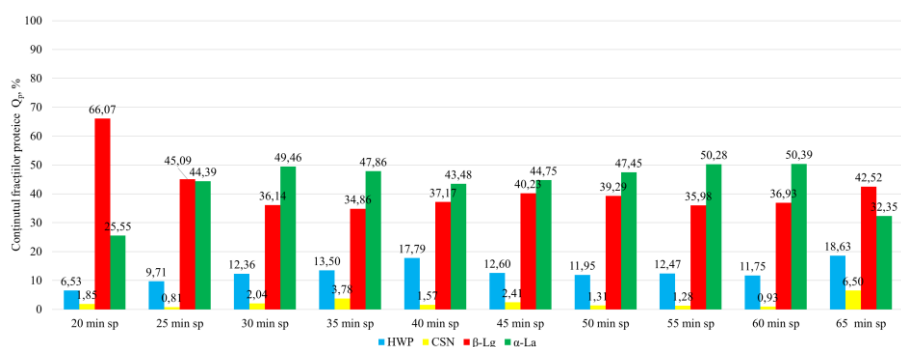
Fig. 4.9. Recuperarea Q_p , % fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCMP în EDP-2, regim continuu, $j=20\text{mA/cm}^2$

De menționat, că o cantitate mai sporită de HWP (30.49%) se înregistrează în faza spumoasă la 60 min de tratare, cel mai probabil grație forțelor arhimedice la flotarea ionică. În faza lichidă - conținutul CC, se înregistrează acumularea HWP din CPM pe durata procesării, fiind înregistrat un conținut de 23,15%, și nu a fost posibilă „trecerea” lor în faza spumoasă, pe motiv că se sedimentează sub formă de agregate. Extragerea neomogenă este cauzată atât de forma geometrică a electrolizorului EDP-2, cât și debitul LC și LA. Consumul specific de energie sumar pe o unitate de volum este mai mare comparativ cu EDC-3, ce diminuează energo-eficiența utilizării acestui tip de electrolizor (carcasă sub formă de paralelipiped) în regim continuu de procesare (Fig. 3.6).

Fracționarea proteinelor serice la electroactivarea în regim continuu de refulare a zerului în electrolizorul EDC-3. Electroactivarea în regim continuu de refulare a ZCMP și a lichidului anodic, în electrolizorul cu carcasă semicilindrică EDC-3 la $j=20\text{mA/cm}^2$ a permis obținerea a două concentrate CPM₁ și a CPM₂ din minutul 20 de procesare. Analiza SDS-PAGE 15% a proteinelor solubile extrase cu soluția tampon pH 8.0, din concentratele recuperate la electroactivarea ZCMP, în regim continuu, denotă o extragere procentuală (Q_p , %) intensă a β -Lg din primele 5 minute de procesare (circa 77%), ce descrește neuniform spre finele tratării. Conținutul de α -La, invers, este mai mare spre finele electroactivării (circa 66% la 55 min procesare). Același caracter de extragere a fracțiilor majore se menține și în CPM₂, unde recuperarea β -Lg descrește ușor, iar cea a α -La sporește spre finele electroactivării, îmbogățind diferențiat concentratele proteice. Extragerea HWP este neuniformă cu caracter ascendent (7-21%) spre finele procesării. Recuperarea CSN este minoră și neomogenă, cantitatea procentuală a lor fiind relativ mai mare în CPM₂ comparativ cu CPM₁ (Fig. 4.10 A, B).



A – Recuperarea Q_p ,% fracțiilor proteice în CPM₁



B – Recuperarea Q_p ,% fracțiilor proteice în CPM₂

Fig. 4.10. Recuperarea Q_p ,% fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCMP, în EDC-3, regim continuu, $j=20\text{mA/cm}^2$, A – CPM₁; B – CPM₂

α -La se extrage mai mult în CPM₂, comparativ cu CPM₁ începând cu 20 min până la 55 min procesare. Ulterior acumularea ei este mai intensă în CPM₁. Recuperarea mai intensă a α -La atât în CPM₁, cât și în CPM₂ este condiționată și de fluxul mare de Ca^{2+} , ce migrează din CA și contribuie la „captarea” α -La atât datorită afinității ei față de ionii de Ca^{2+} , cât și de „eliberarea” ei din complexul enzimatic *lactose syntase* în procesul izomerizării lactozei în lactuloză, ce are loc

simultan. Electroactivarea zerului în regim periodic și continuu a permis înțelegerea acestui proces din aspectul cercetării extragerii fracțiilor proteice majore în CPM, influenței tuturor parametrilor electrici, termici, fizico-chimici și biochimici, parametrilor constructivi/geometrici la electrofracționarea zerului pentru ajustarea procedurii la scară industrială.

4.2. Aspectele de formare a complexelor proteici la electroactivarea zerului

Electroactivarea zerului este însoțită de mai multe procese, influențate de diverși factori ce determină formarea complexelor proteici. Starea coloidală a zerului, este menținută de proteinele serice, înconjurate de membrana apoasă. La electroactivare acest înveliș hidratant se distruge, ca urmare a măririi concentrației saline atât datorită conținutului mineral al fiecărui tip de zer, cât și a ionilor de Ca^{2+} , ce migrează din celula anodului prin membrana eterogenă MK-40, cauzând salinizarea proteinelor, ce este însoțită de înspumarea intensă a mediului prelucrat. Pe de altă parte, s-a stabilit că la electroactivare în CC are loc disocierea apei și, ca rezultat, acumularea și degajarea ionilor de hidrogen la suprafața catodului, ce contribuie preponderent la flotarea ionică. Flotarea ionică, ce are loc concomitent, la rândul său intensifică extragerea CPM sub formă de spumă.

Conținutul solid inițial, în special cel proteic al tipului de zer procesat, influențează valorile pH și ale potențialului redox. Creșterea valorilor pH la electroactivare indică despre trecerea aquacomplexelor în hidroxocomplecși, iar valorile intens negative ale potențialului redox relevă despre faptul, că zerul activat trece printr-un șir de stări metastabile, caracterizate de prezența reductanților supraactivi. După electroactivare, zerul își menține starea metastabilă, pe durata stocării, demonstrată de variația valorilor pH și a potențialului redox în relaxare, până la atingerea echilibrului termodinamic. Inițial, proteinele serice ale zerului au proprietăți amfotere (determinate de grupele carboxilice $-\text{COOH}$ și amino grupele $-\text{NH}_2$), activarea cărora, provoacă mișcări oscilatorii în CC, ce duc la diferite agregări proteice și extragerea diferitor fracții la anumite condiții de electroactivare. Sedimentarea proteinelor în punctul izoelectric (pI), este condiționată de creșterea valorilor pH în CC, atât datorită acumulării grupelor hidroxil (OH^-) în urma disocierii apei, cât și activării radicalilor laterali hidrofilici a aminoacizilor, în special a grupelor amine.

Capacitatea electrolizatoarelor cercetate, dimensiunile CC, debitul LC și LA, regim periodic sau continuu de procesare, tipul zerului tratat, asigură condiții diferite de atingere a pI, respectiv, sedimentarea anumitor fracții, ce se extinde în timpul procesării.

Formarea compușilor proteici înalt moleculari are loc, deseori, prin agregarea proteinelor cu diferită masă moleculară la activarea grupelor sulfhidrilice ($-\text{SH}$) cu formarea punților disulfidice (S-S). Agregarea are loc treptat pe măsura activării grupelor sulfhidrilice de la exteriorul globulei spre interiorul ei, provocând desfășurarea globulelor. Extragerea cazeinatelor se datorează prezenței fosfat-cazeinatelor de calciu unde fosfatul de calciu coloidal formează

agregate cu cazeinatul de calciu, formând punți intermoleculare de calciu – -R-Ca-R-. Se presupune, că la formarea punților structurale (între doi radicali de fosfoserină) pot participa și ioni de hidrofosfat de calciu sau dihidrofosfat de calciu.

4.3. Valoarea biologică a concentratelor proteice minerale obținute la electroactivarea zerului

Valoarea biologică a CPM, obținute la electroactivarea diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare, este confirmată de prezența aminoacizilor atât esențiali, cât și neesențiali în toate mostrele cercetate. Variația conținutului aminoacizilor liberi totali, esențiali și neesențiali la electroactivarea ZCÎP și ZCMP în electrolizorul EDP-4, la densitatea curentului $j=10-20 \text{ mA/cm}^2$ este reprezentată în figurile 4.11 și 4.12 (A și B).

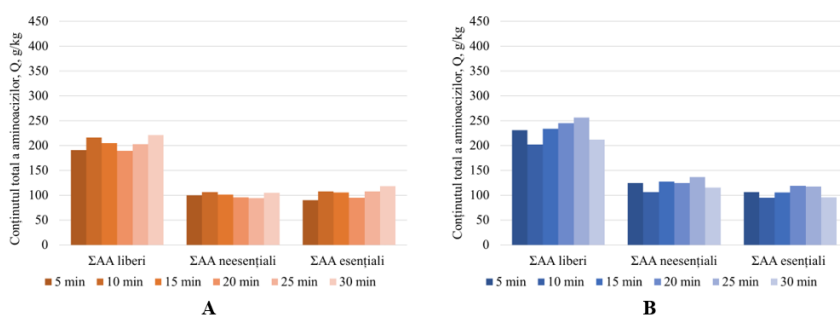


Fig. 4.11. Variația conținutului total a aminoacizilor liberi, aminoacizilor neesențiali și esențiali la electroactivarea la electrolizorul EDP-4 a ZCÎP (A) și ZCMP (B) în regim periodic, la densitatea curentului $j=10\text{mA/cm}^2$

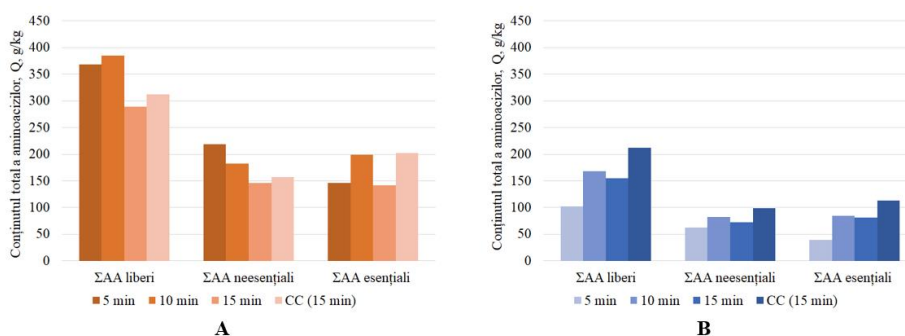


Fig. 4.12. Variația conținutului total a aminoacizilor liberi, aminoacizilor neesențiali și esențiali la electroactivarea în electrolizorul EDP-4 a ZCÎP (A) și a ZCMP (B) în regim periodic, la densitatea curentului $j=20\text{mA/cm}^2$

Astfel, electroactivarea zerului de diferite tipuri permite îmbogățirea CPM cu aminoacizi esențiali, iar nivelul migrării aminoacizilor fie esențiali sau neesențiali în CPM variază în funcție de timpul de procesare și densitatea curentului. Aceste investigații pot fi promițătoare în direcția obținerii CPM cu conținut și spectrul de aminoacizi dorit prin aplicarea diferiților parametri (regimuri) de electroactivare a zerului.

4.4. Elaborarea electrolizorului cu fisuri

Rezultatele cercetărilor privind stabilirea factorilor, ce influențează electroactivarea zerului, înțelegerea proceselor fizico-chimice și biochimice ce au loc la trecerea curentului electric printr-un lichid cu structura biologică complexă cum este zerul, a permis să elaborăm principiile și schema constructivă a unui Electrolizor cu fisuri cu carcasă semicilindrică, adaptat particularităților și cerințelor tehnologice ale procesării produselor lactate secundare cu extragerea concentratelor proteice minerale și izomerizarea simultană a lactozei în lactuloză (Fig. 4.13).

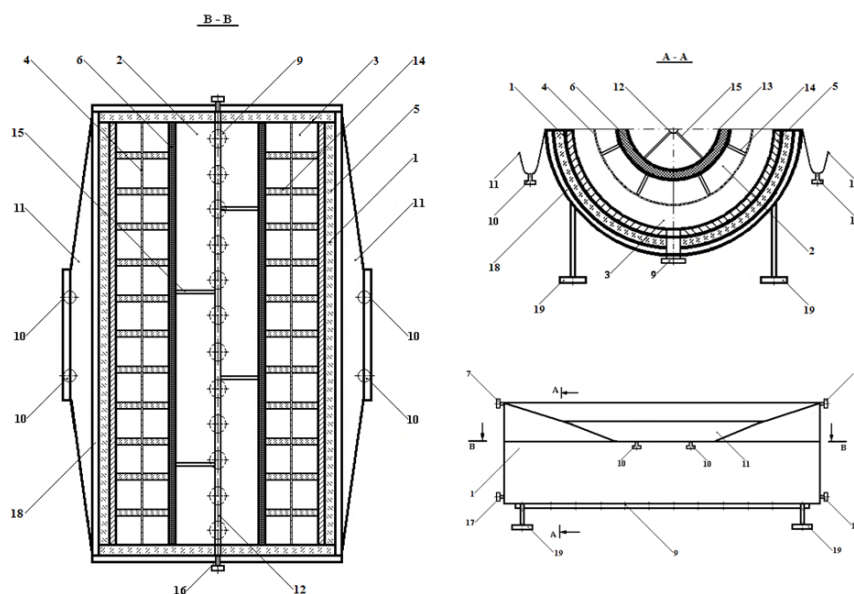


Fig. 4.13. Schema Electrolizorului cu fisuri:

1 - carcasă dielectrică; 2 - celula anodului; 3 - celula catodului; 4 - membrană; 5- catod; 6 - anod; 7 - ventil de admisie a lichidului anodic; 8 - ventil de evacuare a lichidului anodic; 9- ventil de admisie a zerului inițial; 10 - ventil de evacuare a zerului prelucrat; 11 - colector pentru evacuarea spumei; 12 - arbore tubular; 13 - cilindru pentru fixarea anodului ; 14 - nervuri perforate; 15 - țevi radiale; 16 - ventil de admisie a lichidului de răcire; 17- ventil de evacuare a lichidului de răcire; 18 - cămașă de răcire; 19 – suporturi de susținere.

Electrolizorul cu fisuri și carcasă semicilindrică a fost elaborat pentru electroactivarea diferitor medii disperse, în special a zerului, ce prevede procesarea în regim continuu, mărirea suprafeței de activare, excluderea zonelor „moarte”/neeficiente și adaptarea capacității de lucru atât în condiții de laborator, cât și industriale.

4.5. Schema tehnologică a procesului de obținere a concentratului proteic mineral și a zerului deproteinizat

Schema tehnologică a procesului de obținere a concentratelor proteice minerale și a zerului deproteinizat, ce conține lactuloză izomerizată, include operațiile: colectarea zerului obținut după fabricarea brânzeturilor sau cașcavalului în recipiente speciale; răcirea zerului până la 5-10°C pentru oprirea activității bacteriologice și excluderea denaturării termice a proteinelor serice la electroactivare; electroactivarea zerului la densitatea curentului electric 10-20 mA/cm², regim periodic/continuu de refulare a lichidului de lucru și a celui secundar; separarea zerului

deproteinizat de concentratele proteice minerale prin centrifugare/separare; uscarea concentratelor proteice minerale prin liofilizare; condensarea zerului deproteinizat prin evaporare; ambalarea și etichetarea produselor finale.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Conform scopului principal al lucrării, a fost cercetată electroactivarea diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare, ce prevede elaborarea procedului non-rezidual, ecologic, de fracționare a proteinelor serice ale zerului la recuperarea în concentrate proteice minerale, în regim periodic și continuu de refulare a zerului și lichidului anodic, și determinată influența tuturor parametrilor constructivi/geometrici, electrici, termici, fizico-chimici și biochimici, astfel s-a constatat:

1. Recuperarea proteinelor serice în CPM la electroactivarea diferitor tipuri de zer depinde de forma geometrică, parametrii tehnici și tehnologici și capacitatea electrolizatoarelor cercetate (raportul V/S , mL/cm^2). Gradul maxim de extragere a proteinelor (Q , %) se atestă la electroactivarea ZCÎP (78,61% în faza spumoasă și 78,29% în faza lichidă) și ZCMP (75,92% în faza spumoasă și 78,29% în faza lichidă) în electrolizorul cu carcasă semicilindrică EDC-3 în regim periodic de refulare a zerului ($j=10\text{mA}/\text{cm}^2$), și circa 70-74% la electroactivarea în regim continuu de refulare a ZCMP ($j=20\text{mA}/\text{cm}^2$), (*subcapitolul 3.1.4, subcapitolul 3.2.4*, [324-328]).
2. Consumul specific de energie sumară pe o unitate de volum, A_{SV} , $\text{W}\cdot\text{h}/\text{mL}$ la electroactivarea zerului la diferite regimuri de procesare, depinde de volumul procesat, conținutul solid și proteic al fiecărui tip de zer, capacitatea de procesare a electrolizatoarelor și este atribuit la obținerea a două produse simultan: concentrat proteico-mineral cu diferit conținut de proteine serice și zer deproteinizat, ce conține lactuloză izomerizată și constituie $0,023\text{W}\cdot\text{h}/\text{mL}$ la $j=10\text{mA}/\text{cm}^2$ și $0,057\text{W}\cdot\text{h}/\text{mL}$ la $j=20\text{mA}/\text{cm}^2$ pentru EDC-3 la tratarea ZCÎP și ZCMP (*subcapitolul 3.1.1.*, [324-326]). Electroactivarea în regim continuu a ZCMP, în diferite electrolizoare EDP-5, EDC-3 și EDP-2 la $j=20\text{mA}/\text{cm}^2$, determină energo-eficiența utilizării fisurilor similare EDP-5 (*subcapitolul 3.2.1*).
3. Temperatura în faza lichidă (t_L , °C) și spumoasă (t_S , °C) la electroactivarea diferitor tipuri de zer cu diferite electrolizoare și parametri constructivi/geometrici la diferite regimuri de procesare nu depășește valorile denaturării termice a proteinelor serice la extragerea lor în CPM și se menține în limita 30-43 °C (*subcapitolul 3.1.2, subcapitolul 3.2.2* [324-328]).
4. Electroactivarea generează trecerea aquacomplexilor în hidroxocomplecși, demonstrată de modificarea parametrilor fizico-chimici (variația valorilor pH și a potențialului redox), variind în dependență de zerul procesat, tipul electrolizorului utilizat și regimul de procesare (*subcapitolul 3.1.3, subcapitolul 3.2.3*, [324-328, 333]). Variațiile valorilor pH și a potențialului redox pe durata

stocării a zerului electroactivat în diferite electrolizoare și regimuri de refulare (periodic, continuu) sunt importante pentru explicarea mecanismelor de formare a compușilor proteici la recuperarea proteinelor serice în CPM (*subcapitolul 3.1.3, subcapitolul 3.2.3*).

5. Extragerea diferită și neomogenă a proteinelor serice în CPM la electroactivarea diferitor tipuri de zer în diferite electrolizoare este condiționată de proprietățile fiecărei fracții proteice în parte și de comportamentul lor la activarea electrochimică în concordanță cu mecanismele de formare a complexilor proteici: flotarea ionică; salinizarea proteinelor serice; trecerea aquacomplexilor în hidroxocomplecși și prezența stărilor metastabile pe durata stocării, ce generează multiple transformări inter- și intramoleculare; sedimentarea proteinelor serice în punctul izoelectric; agregarea proteinelor la activarea grupelor sulfhidrilice (-SH), prin interacțiunea legăturilor disulfidice (S-S); formarea fosfat-cazeinatelor de calciu (*subcapitolul 4.2, [329, 333, 336]*).

6. Fraționarea diferențiată a proteinelor serice la electroactivare variază în dependență de regimurile de procesare:

- Recuperarea β -Lg, ca fracție proteică majoră din zer, este maximală, din primele minute de procesare, de circa 83-92% la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, $j=10\text{mA/cm}^2$ în regim periodic – (*subcapitolul 4.1.1.3, [240, 329]*) și de circa 77% în regim continuu de refulare a ZCMP în EDC-3, $j=20\text{mA/cm}^2$ (*subcapitolul 4.1.2.2*).
- α -La se extrage maximal la electroactivarea ZCSP, în EDC-pilot, regim periodic, $j=10\text{mA/cm}^2$ – circa 73,20-88,88%, (*subcapitolul 4.1.1.4*) și în regim continuu de refulare a ZCMP în EDC-3, $j=20\text{mA/cm}^2$ – circa 66% (*subcapitolul 4.1.2.2*). Recuperarea α -La, are loc simultan cu izomerizarea maximă a lactozei în lactuloză, atât după mecanismul regruparea Amadori, cât și LA-transformarea, formarea unui complex al ionilor de Ca^{2+} cu lactuloza izomerizată și „eliberarea” α -La din complexul *lactose syntase* și recuperarea ei în CPM [48, 239, 330];
- CSN se extrag mai intens – circa 29.03%, la electroactivarea ZCÎP în EDP-2, regim periodic, $j=20\text{mA/cm}^2$ (*subcapitolul 4.1.1.1 [336]*) și circa 15.87-22.58% în regim continuu de refulare a ZCMP, în EDP-2, la $j=20\text{mA/cm}^2$ (*subcapitolul 4.1.2.1*);
- Conținutul HWP în CPM este mai mare la procesarea ZCÎP în EDP-2, regim periodic, $j=10\text{mA/cm}^2$ – circa 27,16-33,93%, (*subcapitolul 4.1.1.1, [29]*) și în regim continuu de refulare a ZCMP în EDP-2, $j=20\text{mA/cm}^2$ – circa 18,64-30,49% (*subcapitolul 4.1.2.1*).

7. Elaborarea „*Electrolizorului cu fisuri*” cu carcasă semicilindrică va permite: reducerea consumului specific de energie pe o unitate de volum, majorarea gradului de extragere a fracțiilor proteice în CPM, excluderea zonelor „moarte”/neeficiente, mărirea suprafeței de activare și creșterea ratei de izomerizare a lactozei în lactuloză.

8. A fost elaborată schema-bloc de obținere a concentratelor proteice minerale cu conținut diferit de proteine și a zerului deproteinizat, ce conține lactuloză izomerizată.

Electroactivarea este o metodă durabilă, ecologic pură și non-reziduală de procesare a mediilor disperse, în special, a produselor lactate secundare (zerul, zara, etc.), ce permite excluderea parțială, deseori, completă a utilizării reagenților chimici, sporirea calității produselor finite, reducerea consumului specific de energie și a emisiilor în soluții și oferă noi posibilități de tratare.

RECOMANDĂRI PRACTICE

Rezultatele expuse în teză au permis formularea unor recomandări practice privind stabilirea condițiilor optime de fracționare a proteinelor serice la electroactivarea zerului cu extragerea fracțiilor proteice majore în CPM:

1. Electroactivarea zerului în regim periodic necesită menținerea consumului specific de energie sumar pe o unitate de volum, A_{SV} , $W \cdot h/mL$, în limita **0,023 $W \cdot h/mL$** la **$j=10mA/cm^2$** și **0,057 $W \cdot h/mL$** la **$j=20mA/cm^2$** . Capacitatea electrolizorului este preferențială similară **EDC-3, $V/S=2,0 mL/cm^2$** .

Consumul specific de energie sumar pe o unitate de volum se atribuie la obținerea a două produse finale: CPM și ZD, ce conține lactuloză izomerizată din lactoză.

2. **Concentratele proteice îmbogățite cu β -Lg** (cu un conținut de circa 73-92%) pot fi obținute la electroactivarea în regim periodic a ZCÎP în EDC-3, $j=10mA/cm^2$ și a ZCMP în EDC-3, $j=10mA/cm^2$, iar în regim continuu la electroactivarea a ZCMP în EDC-3, $j=20mA/cm^2$.

3. **Concentratele proteice îmbogățite cu α -La** (cu un conținut de circa 65-88%) pot fi obținute la electroactivarea în regim periodic a ZCSP în EDC-pilot, $j=10mA/cm^2$; și a ZCMP în EDC-pilot, $j=10mA/cm^2$ cu menținerea concentrației ionilor de calciu $v(Ca^{2+})$, mol – 0,054 în lichidul anodic, iar în regim continuu la electroactivarea a ZCMP în EDC-3, $j=20mA/cm^2$, cu menținerea concentrației ionilor de calciu $v(Ca^{2+})$, mol – 1,35.

4. **Concentratele proteice îmbogățite cu CSN** (cu un conținut de circa 15-29%) pot fi obținute la electroactivarea în regim periodic a ZCÎP în EDP-2, $j=20mA/cm^2$; și la electroactivarea în regim continuu a ZCMP în EDC-3, $j=20mA/cm^2$.

5. **Concentratele proteice îmbogățite cu HWP** (cu un conținut de circa 18-34%), ce includ BSA, lactoferină, lactoperoxidază, și alți compuși proteici înalt moleculari, pot fi obținute la electroactivarea în regim periodic a ZCÎP în EDP-2, $j=10mA/cm^2$; și la electroactivarea în regim continuu a ZCMP în EDP-2, $j=20mA/cm^2$.

6. Se recomandă utilizarea fisurilor similare EDP-5, conform brevetului de invenție "Electrolizor cu fisuri", pentru: reducerea consumului specific de energie pe o unitate de volum, mărirea

gradului de extragere a fracțiilor proteice în CPM, excluderea zonelor „moarte”/neeficiente, mărirea suprafeței de activare și creșterea ratei de izomerizare a lactozei în lactuloză.

7. Concentratele proteice minerale pot fi utilizate la fortificarea diferitor suplimente alimentare, inclusiv pentru sportivi și bebeluși.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. EBRAHIM, T. Y. Clean and sustainable technology innovation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2020, 45, pp. 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.11.004>.
2. WANG, H., KHAN, M., ANWAR, F., SHAHZAD, F., et al, Green innovation practices and its impacts on environmental and organizational performance. In *Frontiers in psychology*, 2021, 11, 553625. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.553625>.
3. WILSON, D.C. Learning from the past to plan for the future: An historical review of the evolution of waste and resource management 1970–2020 and reflections on priorities 2020–2030 – The perspective of an involved witness. In *Waste Management & Research*, 2023, 41 (12), pp. 1754-1813 <https://doi.org/10.1177/0734242X231178025>.
4. TAMASIGA, P., MIRI, T., ONYEAKA, H., HART, A. Food waste and circular economy: challenges and opportunities. In *Sustainability*, 2020, 14 (16), pp. 9896. <https://doi.org/10.3390/su14169896>.
5. RABBI, M. F., AMIN, M. B. Circular economy and sustainable practices in the food industry: A comprehensive bibliometric analysis. In *Cleaner and Responsible Consumption*, 2024, 14, 100206. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100206>.
6. ZOTTA T., SOLIERI L., IACUMIN L., PICOZZI C., GULLO M. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. In *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2020, 104, no. 7, pp. 2749–2764. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2>.
7. PRAZERES, A. R., RIVAS, J., ALMEIDA, M. A., PATANITA, M., DÔRES, J., CARVALHO, F. Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. In: *Agricultural Water Management*, 2016, 167, pp. 62-74. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.025>.
8. PONIŠT, J., DUBŠÍKOVÁ, V., SCHWARZ, M., SAMEŠOVÁ, D. Methods of processing whey waste from dairies. A review. In: *Environment Protection Engineering*, 2022, 47 (4), pp. 67-84. DOI:10.37190/epe210405.
9. RAGHUNATH, B.V., PUNNAGAIARASI, A., RAJARAJAN, G., IRSHAD, A., ELANGO, A., MAHESH KUMAR, G. Impact of Dairy Effluent on Environment—A Review. In: Prashanthi, M., Sundaram, R. (eds) *Integrated Waste Management in India. Environmental Science and Engineering* (2016). Springer, Cham. pp 239–249 https://doi.org/10.1007/978-3-319-27228-3_22.
10. ZANDONA, E., BLAŽIĆ, M., JAMBRAK, A.R. Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. In *Food Technology and Biotechnology*, 2021 59 (2), pp. 147-161. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>.
11. ALLAGUI, M., KARIM, A., AIDER, M. Contribution to the process development of lactulose-rich whey production by electro-activation with its subsequent neutralization by using the same electro-activation reactor. In: *Journal of Food Engineering*, 2024 362, 111758. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111758>.

LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

1. 1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS:

1. BOLOGA, M.; STEPURINA, T.; ILIASENCO, O.; POLICARPOV, A.; VRABIE, V.; GONCEARUC, V.; PALADII, I.; SPRINCEAN, C.; VRABIE, E. Isolation of protein mineral concentrates at electrophysical processing of whey in stationary regime. *Scientific Study & Research - Chemistry &*

- Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 2016, 17(3), 239-247, ISSN 1582-540X. <https://pubs.ub.ro/?pg=revues&rev=csc6&num=201603&vol=3&aid=4449> (SCImago H-index – 4);
2. VRABIE, E. G., BOLOGA, M. K., **PALADII, I. V.**, STEPURINA, T. G., VRABIE, V. G., GONCHARUK, V. P., POLIKARPOV, A. A., SPRINCHAN, C. G.. Electrical Processing of Whey. Role of Construction, Technological and Energy Characteristics of Reactors. *Surf Eng Appl Elect*, 2019, **55** (2), pp. 197-209, Doi: [10.3103/S1068375519020145](https://doi.org/10.3103/S1068375519020145), <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068375519020145> (IF-0,871)
 3. VRABIE, E., SPRINCEAN, C., **PALADII, I.**, VRABIE, V. The amino acid content in protein mineral concentrates obtained at different electrophysical processing regimes of whey. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, Volume LXII, No. 1, 2019, p. 391-397, ISSN 2285-5750; ISSN CD-ROM 2285-5769; ISSN Online 2393-2260; ISSN-L 2285-5750 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/391-397_1.pdf
 4. VRABIE, E., **PALADII, I.**, SPRINCEAN, C., VRABIE, V. The peculiarities of amino acid migration in protein mineral concentrates under the influence of different pH and temperature values during electro-activation of whey. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. 2020, LXIII (1), 401—407 ISSN 2285-5150, ISSN CD-ROM 2285-5769, ISSN-L 2285- 5750, ISSN-Online: 2393-2260, http://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_1/Art58.pdf
 5. **PALADII, I.V.**; VRABIE, E.G.; SPRINCHAN, K.G.; BOLOGA, M.K. Whey: Review. Part 1: Classification, composition, properties, derivatives, and application. *Surf Eng Appl Elect*. 2021, 57(5), 579—594. Doi:[10.3103/S1068375521050112](https://doi.org/10.3103/S1068375521050112), <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068375521050112>, (IF(SCOPUS) - 0.87, SCImago Journal Rank (SJR) - 0.255)
 6. **PALADII, I.V.**; VRABIE, E.G.; SPRINCHAN, K.G.; BOLOGA, M.K. Whey: Review. Part 2. Treatment Processes and Methods. *Surf Eng Appl Elect*. 2021, **57(6)**, 651—666. Doi:[10.3103/S1068375521060119](https://doi.org/10.3103/S1068375521060119), <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068375521060119> (IF(SCOPUS)) - 0.87, SCImago Journal Rank (SJR) - 0.255)
 7. TARNA, R.; VRABIE, E.; **PALADII, I.**; STURZA, R. Recovery of residual Brewer's Yeast by Electroactivation. *Food Nutrition Sci*. 2021, 12(12), 1177—1190. Doi:10.4236/fns.2021.1212086, ISSN Online: 2157-9458 ISSN Print: 2157-944X, https://www.scirp.org/pdf/fns_2021120714531976.pdf
 8. **PALADII I.**, VRABIE E., VRABIE V., BOLOGA M., STEPURINA T., POLICARPOV A., SPRINCEAN C. Electroactivation emerging method of processing of whey with high protein content. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 2023, Vol. LXVI, Issue 1, ISSN 2285-5750, 465-473 https://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art62.pdf
 9. **PALADII, I.**; VRABIE, E.; BOLOGA, M.; VRABIE, V.; STEPURINA, T.; POLICARPOV, A.; SPRINCEAN, C., Electroactivation - An Advanced method of processing of whey with medium protein content. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2023, Vol. 59, No. 6, pp. 824—835 DOI:<https://doi.org/10.3103/S1068375523060145>
 10. **PALADII I.V.**. Recovery of Protein–Mineral Concentrates by Electroactivation of Whey with Low Protein Content. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2024, vol. 60, nr. 4, pp. 640–649. <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068375524700261>
- 1.2. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil (cu indicarea categoriei)**
11. ВРАБИЕ Э.Г., БОЛОГА М.К., **ПАЛАДИЙ И.В.**, СТЕПУРИНА Т.Г., ВРАБИЕ В.Г., ГОНЧАРУК В.П., ПОЛИКАРПОВ А.А., СПРИНЧЯН К.Г.. (2018) Электрическая обработка молочной сыворотки. Роль конструктивных, энергетических и технологических характеристик реакторов, *Электронная обработка материалов*, **54(4)**, с. 32-44; ISSN 0013-5739.10.5281/zenodo.1345718 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/32-44_1.pdf (cat A)

12. **ПАЛАДИЙ, И.В.**, ВРАБИЕ, Е.Г., СПРИНЧАН, К.Г., БОЛОГА, М.К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение. *Электронная обработка материалов*. 2021, **57(1)**, 52—69. Doi:[10.5281/zenodo.4456698](https://doi.org/10.5281/zenodo.4456698), <https://zenodo.org/record/4456698#.Y2To53ZByUk> (cat A)
13. **ПАЛАДИЙ, И.В.**; ВРАБИЕ, Е.Г.; СПРИНЧАН, К.Г.; БОЛОГА, М.К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 2. Процессы и методы обработки. *Электронная обработка материалов*. 2021, **57(3)**, 83—101. Doi:[10.52577/eom.2021.57.3.83](https://doi.org/10.52577/eom.2021.57.3.83), <https://eom.ifa.md/en/journal/shortview/1973> (cat A)
14. BOLOGA, M., VRABIE, E., CHIȚANU, A., LAICIUC, L., **PALADII, I.**, STEPURINA, T., SPRINCEAN, C.. et al. Recovery of proteine mineral concentrates from acid whey by electro-activation. *Journal of Engineering Science*, XXVI (4), (2019), pp. 124–133. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3591616>, ISSN 2587-3474/ E-ISSN 2587-3482 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/JES-2019-4_124-133.pdf (cat B+)
15. **PALADII, I.**, VRABIE, E., BOLOGA, M., VRABIE, V., STEPURINA, T., POLIKARPOV, A., SPRINCEAN, C.. Peculiarities of proteins fractionation at electroactivation of whey. *Journal of Engineering Sciences*, 2024, vol. 31, nr. 2, pp. 80-93. ISSN 2587-3474. DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31\(2\).08](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(2).08) https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/80-93_2.pdf (cat B+)
16. BOLOGA, M.; VRABIE, E.; **PALADII, I.**; ILIASENCO, O.; STEPURINA, T.; VRABIE, V.; POLICARPOV, A.; SPRINCEAN, C. Peculiarities of extraction of β -lactoglobuline in protein mineral concentrates at electroactivation of whey. *One Health & Risc Management*. 2021, 2(1), 52—68. Doi: 10.38045/ohrm.2021.1.06. <https://journal.ohrm.bba.md/index.php/journal-ohrm-bba-md/article/view/94/71> (cat B)
17. **ПАЛАДИЙ, И.В.**; ВРАБИЕ, Е.Г.; БОЛОГА, М.К.; ВРАБИЕ, В.Г.; СТЕПУРИНА, Т.Г.; ПОЛИКАРПОВ, А.А.; СПРЫНЧАН, К.Г. Электроактивация – передовой метод обработки молочной сыворотки со средним содержанием белка. *Электронная обработка материалов*. 2023, 59(4), 42—53. Doi: 10.52577/eom.2023.59.4.42. (cat B)
18. **И.В. ПАЛАДИЙ**. Выделение белково-минеральных концентратов при электроактивации молочной сыворотки с низким содержанием белка. *Электронная обработка материалов*. 2024, 60(1), 114—123. Doi:10.52577/eom.2024.60.1.114 (cat B)

2. Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

2.1. în lucrările manifestărilor științifice incluse în bazele de date Web of Science și SCOPUS

19. VRABIE, E. G., BOLOGA, M. K., **PALADII, I. V.**, VRABIE, V. G., POLICARPOV, A., GONCIARUC, V., SPRINCEAN, C. GH., STEPURINA, T.. Nanotechnological Aspects at Electro-activation of Secondary Dairy Products. In: Tiginyanu I., Sontea V., Railean S. (eds) 4th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2019. IFMBE Proceedings, vol 77. Springer, Cham, pp 799-803. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_142, Print ISBN 978-3-030-31865-9, Online ISBN 978-3-030-31866-6, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-31866-6_142
20. VRABIE, E.G.; BOLOGA, M.K.; **PALADII, I.V.**; VRABIE, V.G.; POLICARPOV, A.A.; GONCIARUC, V.P.; SPRINCEAN, C. GH.; STEPURINA, T.G. Nanostructuring of Protein Systems by Electroactivation. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87*, 2022. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 522—529. Doi:[10.1007/978-3-030-92328-0_67](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_67), https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-92328-0_67
21. VRABIE, E., **PALADII, I.**, BOLOGA, M., ȚISLINSKAIA, N., VRABIE, V., POLICARPOV, A., STEPURINA, T., SPRINCEAN, C., The Recovery of Alpha-Lactalbumin at the Electroactivation of Whey. In: Sontea, V., Tiginyanu, I., Railean, S. (eds) 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2023. IFMBE Proceedings, vol 91. Springer, Cham., (2024). pp 514–527 https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_55

2.2. în lucrările manifestărilor științifice incluse în Registrul materialelor publicate în baza manifestărilor științifice organizate din Republica Moldova

22. BOLOGA, M.; **PALADII, I.**; STEPURINA, T.; ILIASENCO, O., POLIKARPOV, A.; VRABIE, V.; GONCEARUK, V.; SPRINCEAN, C.; VRABIE, E.. Certain features of electrophysical processing of whey. In: *Modern Technologies in the Food Industry*. 20-22 octombrie 2016, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Tehnica-Info, 2016, pp. 27-31; https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/27-31_6.pdf
23. VRABIE, V., BOLOGA, M., **PALADII, I.**; STEPURINA, T.; ILIASENCO, O., POLIKARPOV, A.; VRABIE, V.; GONCEARUK, V.; SPRINCEAN, C.; VRABIE, E.. Variation of the amino acid content in mineral protein concentrates at electrophysical processing of whey. In: *Proceedings of the International Conference Modern Technologies, in the Food Industry-2018*. 18-20 octombrie 2018, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Tipografia „Bons Offices“, pp. 276-281. ISBN 978-9975-87-428-1; https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/276-281_2.pdf
24. **PALADII IRINA**. Conținutul proteic al zerului. Technical-Scientific Conference of Undergraduate, Master and Phd Students, Chisinau, 23-25 March 2021, Vol. I, pp. 432-435; ISBN 978-9975-45-700-2 (Vol. I), https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-432-435.pdf ;
25. **PALADII IRINA**. Metode de procesare a zerului. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor din 29-31 martie, 2022, Vol. I, pp. 476-479, ISBN 978-9975-45-828-3, https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-476-479.pdf
26. **PALADII I.** Conținutul mineral al zerului - beneficiile calciului și fosforului. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, Universitatea Tehnică a Moldovei, 5-7 aprilie 2023. Chișinău, 2023, vol. 2, pp. 258-260. ISBN 978-9975-45-956-3. ISBN 978-9975-45-957-7 (Vol.2). https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/258-260_15.pdf
27. VRABIE, E.G., **PALADII, I.V.**, BOLOGA, M.K., VRABIE, V.G., STEPURINA, T.G., POLICARPOV, A.A., SPRINCEAN, C.GH.. Sedimentarea proteinelor serice în punctul izoelectric la electroactivarea zerului. Conferința științifică națională cu participare internațională „Integrare prin Cercetare și Inovare”, dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare, 7-8 noiembrie 2024, Universitatea de Stat din Moldova, pag. 807-814, ISBN 978-9975-62-808-2, https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/807-814.pdf

3. Teze în culegeri științifice

3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

28. BOLOGA, M.; STEPURINA, T.; ILIASENCO, O.; POLICARPOV, A.; VRABIE, V.; GONCEARUC, V.; **PALADII, I.**; SPRINCEAN, C.; VRABIE, E.. Isolation of protein mineral concentrates at electrophysical processing of whey in stationary regime. În: *The International Conferences Celebrating 55 Years of Higher Education and 40 Years of Technical Higher Education into "Vasile Alecsandri" University of Bacau*. Conference Proceedings - ABSTRACTS, Bacău, (2016), June 02-04, p. 103. ISSN: 2457-3388;
29. VRABIE, E., SPRINCEAN, C., **PALADII, I.**, VRABIE, V. The amino acid content in protein mineral concentrates obtained at different electrophysical processing regimes of whey. In: *Book of abstracts of the International Conference „Agriculture for Life, Life for Agriculture”*. Section 3. Animal Science, June 6-8, Bucharest, Romania, 2019, p. 123, ISSN 2457-3221;
30. VRABIE, E., **PALADII, I.**, SPRINCEAN, C., VRABIE, V. The peculiarities of amino acid migration in protein mineral concentrates under the influence of different pH and temperature values during electro-activation of whey. In: *Agriculture for Life, Life for Agriculture: Book of abstracts of the International Conference*. Section 3. Animal Science, June 4-6 2020, p150. ISSN 2457-3221;
31. **PALADII, I.**, VRABIE, V., VRABIE, E., BOLOGA, M., STEPURINA, T., POLICARPOV, A., SPRINCEAN, C.. Electroactivation emerging method of processing of whey with high protein content. In: *Agriculture for Life, Life for Agriculture: Book of abstracts of the International Conference*. Section 3. Animal Science, June 8-10 2023, p. 146. ISSN 2457-3221;

3.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

32. VRABIE, E., STEPURINA, T., VRABIE, V., SPRINCEAN, C., **PALADII, I.** The electrophysical processing of whey for obtaining seif and healthy products. In: Proceedings of the International Scientific Conference on Microbial Biotechnology, October 12-13, 2016, Chişinău: „Artpoligraf”, p.112. ISBN978-9975-3129-3-6. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/Microbial_Biotech_Conference_2016.pdf
33. BOLOGA, M.K., STEPURINA, T.G., ILIASENCO, O.K., SAJIN, T.M., POLICARPOV, A.A., VRABIE, V.GH., GONCEARUC, V.P., **PALADII, I.V.**, SPRINCEAN, C.GH., VRABIE, E.GH. Electrophysical Processing of Whey: Some Experimental Details. In: Abstracts of the 8th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics, September 12-16, 2016. Chisinau, p.314. ISBN 978-9975-8787-1-2
34. BOLOGA, M.K., STEPURINA, T.G., ILIASENCO, O.K., SAJIN, T.M., POLICARPOV, A.A., VRABIE, V.GH., GONCEARUC, V.P., **PALADII, I.V.**, SPRINCEAN, C.GH., VRABIE, E.GH. Effect of Electrophysical Processing, High Temperature and pH Variations on Four Whey Proteins. In: Abstracts of the 8th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics, September 12-16, Chisinau, 2016, p.315. ISBN 978-9975-8787-1-2
35. BOLOGA, M.K., STEPURINA, T.G., ILIASENCO, O.K., SAJIN, T.M., POLICARPOV, A.A., VRABIE, V.GH., GONCEARUC, V.P., **PALADII, I.V.**, SPRINCEAN, C.GH., VRABIE, E.GH. Electrofractionation of protein mineral complexes obtained by electrophysial whey processing. In: Abstracts of the 8th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics, September 12-16, Chisinau, 2016, p. 361. ISBN 978-9975-8787-1-2;
36. BOLOGA M., VRABIE E., STEPURINA T., VRABIE V., ILIASENCO O., **PALADII I.**, SPRINCEAN C., POLICARPOV A., GONCIARUC V. Variaţia consumului de energie la procesarea electrofizică a zerului. Proceeding of the: The 9th International Conference “Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chişinău, MOLDOVA, October 19-21, 2017, p. 507;
37. BOLOGA M., VRABIE E., STEPURINA T., VRABIE V., ILIASENCO O., **PALADII I.**, SPRINCEAN C., POLICARPOV A., GONCIARUC V. Extragerea fracţiilor proteice la procesarea electrofizică a zerului The 9th International Conference “Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chişinău, MOLDOVA, October 19-21, 2017, p. 508;
38. BOLOGA M., **PALADII I.**, VRABIE E., STEPURINAT., VRABIE V., ILIASENCO O., SPRINCEAN C., POLICARPOV A., GONCIARUC V., Aspecte ecologice la procesarea electrofizică a zerului. The 9th International Conference “Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of Physicists of Moldova, Chişinău, MOLDOVA ,October 19-21, 2017, p. 509;
39. BOLOGA, M.K., STEPURINA, T.G., VRABIE, V.GH., ILIASENCO, O.K., POLICARPOV, A.A., GONCEARUC, V. P., **PALADII, I.V.**, SPRINCEAN, C.GH., VRABIE, E.GH.. (2018) Recovery of essential amino acids in protein mineral concentrates at electrophysical processing of whey. In: *Materials Science and Condensed Matter Physics*. Ediţia a 9-a, 25-28 septembrie 2018, Chişinău. Chişinău, Republica Moldova: Institutul de Fizică Aplicată, p. 260 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/00260.pdf ;
40. M.K. Bologa, T.G. Stepurina, V.Gh. Vrabie, O.K. Iliasenco, A.A. Policarpov, V. P. Goncearuc, **I.V. Paladii**, C.Gh Sprincean, E.Gh. Vrabie. (2018) Recovery of non-essential amino acids in protein mineral concentrates at electrophysical processing of whey. In: *Materials Science and Condensed Matter Physics*. Ediţia a 9-a, 25-28 septembrie 2018, Chişinău. Chişinău, Republica Moldova: Institutul de Fizică Aplicată, p. 261 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/00261.pdf ;
41. M.K. Bologa, T.G. Stepurina, V.Gh. Vrabie, O.K. Iliasenco, A.A. Policarpov, V. P. Goncearuc, **I.V. Paladii**, C.Gh Sprincean, E.Gh. Vrabie. (2018) Recovery of amino acids in protein mineral concentrates at electrophysical processing of whey at different pH and temperature values. In: *Materials Science and Condensed Matter Physics*. Ediţia a 9-a, 25-28 septembrie 2018, Chişinău. Chişinău, Republica Moldova: Institutul de Fizică Aplicată, p. 262 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/00262.pdf ;
42. VRABIE, E.Gh, BOLOGA, M.K.; **PALADII, I.V.**; VRABIE, V. Gh.; POLICARPOV, A.A.; GONCIARUC, V.P.; SPRINCEAN, C.Gh.; STEPURINA, T.G.. (2019) Nanotechnological Aspects at Electro-activation of Secondary Dairy Products. Abstract Book of 4th International Conference on

- Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2019. IFMBE, Chişinău, Moldova, september 18 – 21, pp. 155;
43. **PALADII, I.** Whey wasteless processing: electroactivation of whey with medium protein content. În: *Intelligent Valorisation of Agro-Food Industrial Wastes 2021*. International Conference, 7-8 octombrie 2021, Chişinău, Moldova, p. 36. ISBN: 978-9975-3464-2-9, https://intelwastes.utm.md/wp-content/uploads/2022/02/Book-of-Abstracts_Intelwastes-oct-2021cover.pdf
 44. BOLOGA, M.; VRABIE, E.; **PALADII, I.**; STEPURINA, T.; VRABIE, V.; POLIKARPOV, A.; GONCIARUC, V.; SPRINCEAN, C. Wasteless whey processing: technological aspects. În: *Intelligent Valorisation of Agro-Food Industrial Wastes 2021*. International Conference, 7-8 octombrie 2021, Chişinău, Moldova, p. 59. ISBN: 978-9975-3464-2-9, https://intelwastes.utm.md/wp-content/uploads/2022/02/Book-of-Abstracts_Intelwastes-oct-2021cover.pdf
 45. VRABIE, E.G.; BOLOGA, M.K.; **PALADII, I.V.**; VRABIE, V.G.; POLICARPOV, A.A.; GONCIARUC, V.P.; SPRINCEAN, C.GH.; STEPURINA, T.G.. Nanostructuring of Protein Systems by Electroactivation. În: *Program and Abstract Book*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering ICNBME - 2021, November 3-5 2021, Chisinau, Republic of Moldova, p. 105. ISBN: 978-9975-72-592-7. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/BoA-2_final_corect_2021.pdf
 46. **PALADII I.**, VRABIE E., BOLOGA M., STEPURINA T., POLICARPOV A., Electrical aspects at the electroactivation of dispersed media. În: *Proceedings of the International Conference Modern Technologies In The Food Industry–2022, 20–22 October, 2022 Chişinău (Republic of Moldova)*, p. 20, ISBN 978-9975-45-851-1, https://mtfi.utm.md/files/Materialele_Conferintei_MTFI-2022.pdf
 47. VRABIE, E.G.; **PALADII, I.V.**; BOLOGA, M.K.; ȚISLINSKAIA, N., VRABIE, V.G.; POLICARPOV, A.A.; STEPURINA, T.G.; SPRINCEAN, C. GH.. The Recovery of Alpha-Lactalbumin at the Electroactivation of Whey. In: *Abstract Book of the 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering ICNBME - 2023, September 20-23, Chisinau, Republic of Moldova*, p. 109, ISBN 978-9975-72-773-0
 48. VRABIE, E.G., **PALADII, I.V.**, BOLOGA, M.K., VRABIE, V. G, STEPURINA, T.G., POLICARPOV, A.A., SPRINCEAN, C.GH.. Recovery of caseins at the electroactivation of whey, *10th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics*, 1-4 October, 2024, Chişinău, Moldova, p. 175, ISBN 978-9975-62-763-4. https://mscmp.usm.md/wp-content/uploads/2024/10/MSCMP2024_Book_Abstracts.pdf
 49. **PALADII, I.**, VRABIE, E., BOLOGA, M., Valeria, VRABIE, Tatiana, STEPURINA, Albert, POLICARPOV, Catalina, SPRINCEAN. Aspects of protein aggregation at the electroactivation of whey. In: *Book of Abstract of the VI Edition Conference MODERN TECHNOLOGIES IN THE FOOD INDUSTRY* 17-18 October, 2024, Chisinau (Republic of Moldova), p. 17, ISBN 978-9975-64-472-3, https://mtfi.utm.md/files/Materialele_Conferintei_MTFI-2024.pdf
- 4. Brevete de invenție și alte obiecte de proprietate intelectuală (OPI)**
1. Bologa Mircea, MD, Vrabie Elvira, MD, Maximuk Evghenii, MD, **Paladii Irina**, MD, Policarpov Albert, MD, Gonciaruc Valeriu, MD, Sprincean Catalina, MD. Electrolizor cu fisuri, nr. 1325 (13) Y, 2019.03.31, <http://www.db.agepi.md/Inventions/registru/s%202018%200079>
 2. Vrabie E.; Sajin T.; Bologa M.; **Paladii I.**; Policarpov A.; Vrabie V.; Stepurina T.; Gonciaruc V.; Sprincean C. *Procedeu de obținere din zer a concentratului proteic mineral înnobilat cu alfa-lactalbumină*. Brevet de invenție nr. MD 1547 Y, Int. Cl.: A23N 1/00, BOPI 7/2021, pp. 41-42, <http://www.db.agepi.md/Inventions/registru/s%202020%200055>
 3. Bologa, M.; Vrabie, E.; Sajin, T.; **Paladii, I.**; Policarpov, A.; Vrabie, V.; Stepurina, T.; Sprincean, C. *Procedeu de obținere a concentratelor proteice minerale înnobilate cu beta-lactoglobuline*. Brevet de Invenție nr. MD 1637 Y 2022.08.31, <http://www.db.agepi.md/Inventions/registru/s%202021%200106>

ADNOTARE

Paladii Irina: "Fraționarea proteinelor serice la electroactivarea zerului", teză de doctor în științe ingineresti, Chișinău, 2026

Structura tezei: constă din introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări, bibliografie cu 343 titluri, 5 anexe. Textul de bază conține 117 pagini, inclusiv 114 figuri și 20 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 52 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: electroactivare, electrofracționare, electrolizoare, produse lactate secundare, zer, proteine din zer, fracții proteice.

Scopul lucrării: constă în elaborarea procedurii non-rezidual, ecologic, de fracționare a proteinelor serice recuperate în concentrate proteice minerale la electroactivarea produselor lactate secundare, stabilirea regimurilor optime, aspectelor de fracționare a proteinelor serice și elaborarea electrolizorului cu diafragmă pentru electroactivarea zerului.

Obiectivele specifice sunt: studiul procedurilor și metodelor de tratare și fracționare a proteinelor serice din produse lactate secundare, argumentarea selectării metodei de electroactivare a diferitor tipuri de zer; stabilirea regimurilor optime de procesare la electroactivarea produselor lactate secundare (forma geometrică a electrolizoarelor și parametri tehnici și tehnologici; densitatea curentului electric; voltajul; consumul specific de energie pe o unitate de volum; regimul de refulare a lichidului de lucru (zerului) și a lichidului secundar; durata de procesare; valorile pH și a potențialului redox (E, mV); temperatura; determinarea gradului de extragere a fracțiilor proteice în concentrate proteice minerale (CPM)); stabilirea aspectelor de formare a complexilor proteici în funcție de proprietățile proteinelor serice din zer, recuperate în CPM, elucidarea particularităților de fracționare a lor la diferite regimuri de electroactivare a zerului și determinarea valorii biologice a concentratelor proteice minerale, obținute la electroactivarea zerului; elaborarea electrolizorului cu diafragmă, destinat obținerii CPM îmbogățite cu anumite fracții proteice.

Noutatea și originalitatea științifică: constă în stabilirea influenței regimurilor de electroactivare, inclusiv a parametrilor constructivi și geometrici a electrolizoarelor, pentru elaborarea electrolizorului cu fisuri, ce asigură procesarea non-reziduală, ecologică, de fracționare a proteinelor serice ale zerului la recuperarea în concentrate proteice minerale, simultan cu izomerizarea lactozei în lactuloză.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea problemei științifice importante: a fost elaborat procedeul de fracționare a proteinelor serice la electroactivarea zerului și stabiliți parametri optimi precum și regimurile de procesare, care permite obținerea concentratelor proteice minerale, îmbogățite cu anumite fracții proteice, simultan cu electroizomerizarea lactozei în lactuloză. A fost demonstrată experimental fracționarea diferențiată a proteinelor serice.

Semnificația teoretică: în premieră au fost stipulate aspectele fracționării proteinelor serice la electroactivarea produselor lactate secundare în dependență de tipul zerului procesat, forma geometrică și parametri tehnici a electrolizoarelor elaborate, regimurile de tratare (densitatea curentului electric și regimul de refulare a lichidului de lucru și a celui secundar).

Valoarea aplicativă: a fost elaborat: procedeul de fracționare a proteinelor serice la electroactivarea zerului și identificarea parametrilor optimi a regimurilor de procesare; "Electrolizorul cu fisuri" cu parametri tehnici optimizați; schema-bloc de obținere a concentratului proteic mineral și zerului deproteinizat, ce conține lactuloză izomerizată. Au fost obținute 3 brevete de invenție.

АННОТАЦИЯ

Паладий Ирина: «Фракционирование сывороточных белков при электроактивации молочной сыворотки», диссертация на степени доктора инженерных наук, Кишинев, 2026.

Структура диссертации: состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, библиография в 343 наименованиях, 5 приложения. Основной текст содержит 117 страниц, в том числе 114 рисунков и 20 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 52 научных статьях.

Ключевые слова: электроактивация, электрофракционирование, электролизеры, вторичные молочные продукты, молочная сыворотка, сывороточные белки, белковые фракции.

Цель работы: разработка безотходного, экологического процесса фракционирования сывороточных белков, извлеченных в белково-минеральные концентраты (БМК) при электроактивации вторичных молочных продуктов, установление оптимальных режимов, аспектов фракционирования сывороточных белков и разработка диафрагменного электролизера для электроактивации молочной сыворотки (МС).

Задачи работы: изучение процессов и методов обработки и фракционирования сывороточных белков из вторичных молочных продуктов, обоснование выбора процесса электроактивации различных видов МС; определение оптимальных режимов обработки для электроактивации вторичных молочных продуктов: геометрической формы электролизеров и технико-технологических параметров; плотности электрического тока; напряжения; удельного расхода энергии на единицу объема; режима подачи рабочей жидкости (МС) и вторичной жидкости; продолжительности обработки; значения рН и окислительно-восстановительного потенциала (Е, мВ); температуры; определения степени извлечения белковых фракций в БМК; выявления аспектов образования белковых комплексов в зависимости от свойств сывороточных белков, извлеченных в БМК и обоснование их фракционирования при различных режимах электроактивации МС; определение биологической ценности, полученных БМК при электроактивации МС; разработка диафрагменного электролизера, предназначенного для получения белково-минеральных концентратов, обогащенных определенными белковыми фракциями.

Научная новизна и оригинальность: заключается в выявлении влияния режимов электроактивации, в том числе конструктивных и геометрических параметров электролизеров, для разработки электролизера с щелями, обеспечивающего безотходную, экологичную переработку молочной сыворотки и фракционирования сывороточных белков при их извлечении в БМК и одновременной изомеризацией лактозы в лактулозу.

Основные результаты: Разработан процесс фракционирования сывороточных белков при электроактивации МС и установлены оптимальные параметры и режимы обработки, позволяющие получать белковые концентраты, обогащенные определенными белковыми фракциями, одновременно с электроизомеризацией лактозы в лактулозу. Экспериментально доказано дифференцированное фракционирование сывороточных белков.

Теоретическая значимость: впервые были представлены аспекты фракционирования сывороточных белков при электроактивации вторичных молочных продуктов в зависимости от вида перерабатываемой МС, геометрической формы и технических параметров разработанных электролизеров, режимов обработки (плотность электрического тока и режимов подачи рабочей и вторичной жидкости).

Прикладное значение: разработаны: способ фракционирования сывороточных белков при электроактивации МС с оптимальными параметрами обработки; «Щелевой электролизер» с оптимизированными техническими параметрами; блок-схема для производства БМК и депротеинизированной сыворотки, содержащая изомеризованную лактулозу. Получено три патента.

ABSTRACT

Paladii Irina: "Fractionation of whey proteins at the electroactivation of whey", PhD thesis in engineering sciences, Chisinau, 2026

Thesis structure: consists of introduction, 4 chapters, conclusions and recommendations, bibliography with 343 titles, 5 annexes. The basic text contains 117 pages including 114 figures and 20 tables. The results are published in 52 scientific papers.

Key words: electroactivation, electrofractionation, electrolyzers, secondary dairy products, whey, whey proteins, protein fractions.

The purpose of the work: consists in the development of the non-residual, ecological process for the fractionation of whey proteins recovered into protein mineral concentrates (PMC) at the electroactivation of secondary dairy products, the establishment of optimal regimes, the mechanisms of serum protein fractionation and the development of the diaphragm electrolyzer for the electroactivation of whey.

The research objectives: the study of the methods and processes of treatment and fractionation of whey proteins from dairy by-products, argumentation of the selected method of electroactivation of different types of whey; determination of the optimal processing regimes for the electroactivation of whey: the geometrical casing of the electrolyzers and their technical and technological parameters; the electric density; voltage; the specific energy consumption per unit volume; the flow regime of the working liquid (whey) and secondary liquid; processing time; pH and redox-potential (E , mV) values; temperature; determination of the recovery degree of whey proteins into PMCs; identification of the mechanisms of formation of protein compounds depending on the properties of serum proteins recovered in PMC and argumentation of their fractionation at different regimes of whey electroactivation; determination of the biological value of protein mineral concentrates; development of the diaphragm electrolyzer designed to obtain PMCs enriched with certain protein fractions.

The scientific novelty and originality: aims to establish the influence of electroactivation regimes, including the design and geometric parameters of electrolyzers, for the development of a slotted electrolyser that ensures non-residual, ecological fractionation of whey proteins during the recovery of mineral protein concentrates, simultaneously with the isomerisation of lactose to lactulose.

Main results: A process for fractionating whey proteins during the electroactivation of whey was developed, and the optimal parameters and processing conditions were established, allowing the production of mineral protein concentrates enriched with certain protein fractions, simultaneously with the electroisomerization of lactose into lactulose. The differentiated fractionation of whey proteins was demonstrated experimentally.

Theoretical significance: for the first time, it was demonstrated the fractionation of whey proteins at the electroactivation of secondary dairy products depending on the type of whey processed, the geometrical casing and technical parameters of the electrolyzer developed, the treatment regimes (current density and the flow regime of the working and secondary liquids).

Applicative value: it was elaborated: the process for the fractionation of whey proteins at the electroactivation of whey and identification of the optimal parameters of the processing regimes; the "Slot electrolyser" with optimized technical parameters; the block-scheme for the obtaining of mineral protein concentrate and deproteinized whey containing isomerized lactulose. 3 patents were obtained.

PALADII IRINA

FRAȚIONAREA PROTEINELOR SERICE LA ELECTROACTIVAREA ZERULUI

253.05. Procese și Aparate în Industria Alimentară

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 02.02.26

Formatul hârtiei: 60x84 1/16

Hârtie offset. Tipar RISO

Tiraj: 50

Coli de tipar 2,25

Comanda nr. 25

MD-2004, Chisinau, Bulevardul Stefan cel Mare si Sfânt, 168, UTM
MD-2045, Chisinau, str. 9/9 Studentilor, Editura „Tehnica-UTM”

CHIȘINAU 2026