



POLITEHNICA University of Bucharest

Faculty of Power Engineering

Energy Generation and Use

**ABSTRACT / REZUMAT
HABILITATION THESIS / TEZĂ DE ABILITARE**

**PRODUCTION OF BIOMATERIALS WITH ENERGY
APPLICABILITY AND FOR PROTECTION OF
ENVIRONMENTAL MATRICES**

**PRODUCEREA DE BIOMATERIALE CU
APLICABILITATE ÎN ENERGETICĂ ȘI PROTECȚIA
MATRICILOR DE MEDIU**

Assoc. Prof. Cora GHEORGHE, Dr. Eng.

Bucharest

2021

REZUMAT

În prezent, ne confruntăm cu o cerere globală în totală expansiune pentru combustibili regenerabili și produse chimice, pentru identificarea surselor alternative care să înlocuiască combustibilii fosili. Biomasa deține potențialul de a fi valorificată în bioenergie și produse avansate pentru protecția matricilor de mediu. Un rezultat al conversiei biomasei este biocărbunele, care este recunoscut ca un instrument semnificativ datorită rolului său promițător în rezolvarea multor probleme de management de mediu. Producerea de biocărbune din biomasă pare a fi o metodă promițătoare de a atinge niveluri mai mari de flexibilitate pentru integrarea acesteia ca instrument semnificativ pentru gestionarea și protecția mediului înconjurător. Există o nevoie reală de a transforma biomasa într-un astfel de instrument, care va depăși toate aceste aspecte conexe, cu o posibile utilizări în diferite scopuri productive, cum ar fi producția de energie, îmbunătățirea calității solului și remedierea solului, generarea de materiale pentru utilizări industriale etc.

Teza de abilitare intitulată „Producerea de biomateriale cu aplicabilitate energetică și pentru protecția matricilor de mediu” propune o abordare complexă, având ca scop prezentarea sintezei rezultatelor generate de dezvoltarea proceselor de poligenerare a diferite produse, cu o mare varietate de utilizări: producerea de bioenergie, îmbunătățirea calității solului, decontaminarea solurilor poluate și protecția mediului. În ansamblu, ea poate constitui un aport științific la progresele recente în domeniul biomaterialelor, biocombustibili și sol. Teza de abilitare prezintă rezultatele activităților realizate în aproape 20 de ani de carieră, dezvoltată atât în direcția de cercetare, cât și în direcția de predare, și ar putea aduce progrese în domeniul cercetărilor asupra pirolizei biomasei și a remedierii solului, adresându-se atât mediului academic, cât și industrial și stimulând totodată dezvoltarea tehnologiilor de valorificare a biomasei. Multe dintre rezultatele incluse în teză au fost realizate ca postdoctorand timp de 3 ani, lector, și din 2017 conferențiar. Rezultatele științifice au fost abordate într-o manieră cuprinzătoare și publicate în peste 70 de lucrări și comunicări științifice, difuzate în reviste / conferințe naționale și internaționale, pentru jumătatea lucrărilor fiind primul autor: autor unic pentru 1 carte în domeniul protecției mediului, coautor pentru 6 cărți / capitole științifice. Realizări semnificative în dezvoltarea diverselor tehnologii de piroliză a biomasei și upgradarea produselor de piroliză în combustibili de înaltă calitate și biomateriale funcționale în diferite domenii au fost dezvoltate grație funcției de director pentru 3 proiecte: PN II - CAPACITĂȚI (Modulul III) - Cooperare bilaterală România - China, PN – II – RU – TD – 2008–3, UPB - GEX - 2016, funcției de Responsabil activității de cercetare tehnologii termice pentru remedierea solurilor contaminate timp de 3,5 ani într-un proiect POSCCE – RECOLAND, Coinvestigator principal pentru dezvoltarea proceselor de piroliză și generarea de bio-produse într-un proiect POC – BIONOV (director este profesor la Universitatea Louisiana din SUA) și cercetător pentru

alte proiecte, dintre care 3 au fost finanțate din fonduri europene: Horizon 2020 (1), FP6 (1), POSDRU (1). În ceea ce privește activitățile de cercetare realizate și care au contribuit la obținerea rezultatelor prezentate în teză, instituțiile cheie colaboratoare sunt: Universitatea POLITEHNICA din București - România, Universitatea Louisiana - Statele Unite ale Americii, Universitatea Zhejiang - China, Universitatea din Trento - Italia, Universitatea Kocaeli - Turcia, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Știința Solului, Agrochimie și Mediu - ICPA București, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Siguranță în Muncă (INCDPM) - „Alexandru Darabont”, UEFISCDI, instituție publică subordonată Ministerului Educație și Cercetare, ACCIONA - Spania - lider în tranziția către o economie cu emisii reduse de carbon. Participarea la programul postdoctoral de cercetare avansată timp de 3 ani a condus la îmbunătățirea expertizei în domeniul tratamentelor termice utilizate pentru remedierea solului și, astfel, prin dezvoltarea acestor tehnologii, am inițiat o nouă direcție de cercetare în departamentul din care fac parte – Departamentul de Producere și Utilizare a Energiei, Facultatea de Energetică. Timp de 3,5 ani, în calitate de Responsabil activități de cercetare privind tehnologiile termice pentru depoluarea solurilor contaminate în cadrul unui proiect de cercetare de tip POSCCE, am coordonat și realizat studii și campanii experimentale ale proceselor termice pentru remedierea solului. Cercetările au continuat în cadrul a două proiecte de cercetare, pe care le-am coordonat în calitate de director și în care am propus, dezvoltat și aplicat tehnologii folosind procese termice pentru decontaminarea diferitelor matrici de soluri poluate. În timpul proiectului de cooperare bilaterală cu o universitate din China, cotată a patra universitate în această țară, și derulat timp de 2 ani, am dezvoltat o relație de colaborare cu profesori și cercetători chinezi de la Universitatea Zhejiang. În cele din urmă, activitățile de cercetare și colaborare s-au concretizat într-un Acord de colaborare încheiat între Facultatea de Energie - UPB și Institute for Thermal Power Engineering - Universitatea ZHEJIAN.

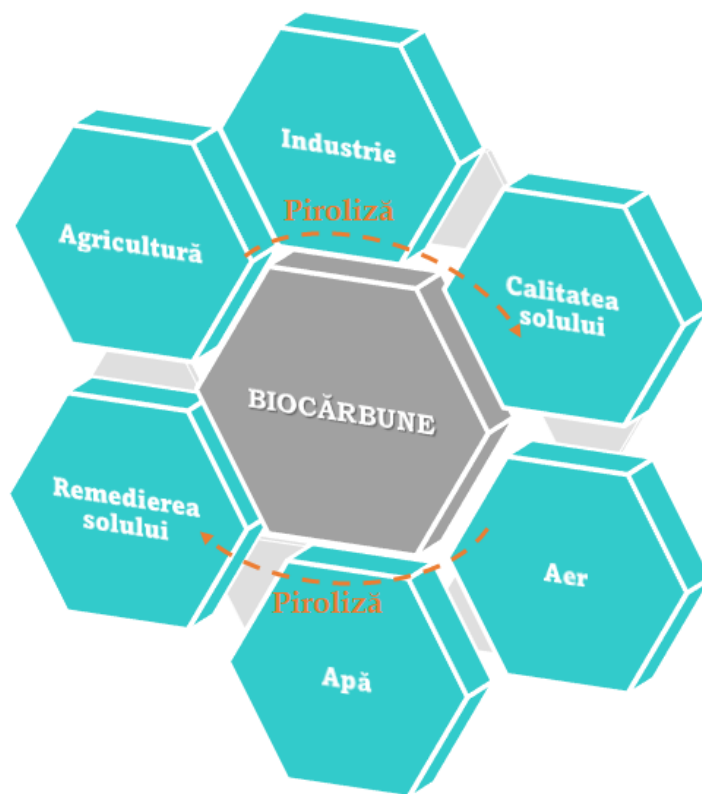
Teza de abilitare este structurată în jurul a două direcții de cercetare: biomateriale pe bază de carbon și valorificarea lor în bioenergie / materiale ecologice funcționale și remedierea solurilor aplicând tehnologii convenționale și neconvenționale. Există câteva secțiuni principale care ilustrează anumite rezultate ale cercetărilor experimentale / empirice / teoretice efectuate pe parcursul mai multor ani în Universitatea POLITEHNICA din București și în străinătate. Prima secțiune se referă la *procesele de piroliză pentru conversia biomasei* și prezintă contextul, progrese recente și rezultate generate de dezvoltarea proceselor termochimice în diferite configurații pentru a converti biomasa în energie sau biocombustibili, precum biogaz, lichid (bioulei) și solid (biocărbune). Diferite tipuri de biomasă au fost convertite termochimic prin piroliză urmărindu-se diferite condiții ale procesului: temperatura (scăzută și înaltă), rata de încălzire (piroliză lentă și rapidă), tipul de reactoare, factori de influență, caracterizarea și utilizarea produselor, evaluări de mediu.

A doua secțiune este dedicată *tehnologiilor termice aplicate pentru remedierea solului contaminat*, unde sunt expuse rezultatele generate de dezvoltarea la scară de laborator a proceselor termice avansate oxidante (incinerare) și non-oxidante (piroliză) ca procese de decontaminare pentru solurile poluate. Această parte a tezei oferă informații importante despre procesele termice cu eficiență ridicată în eliminarea poluanților din matricile solului. Rezultatele studiilor de cercetare experimentale au arătat că piroliza ar putea atinge o eficiență de peste 90% în eliminarea compușilor petrolieri din sol.

Următoarea secțiune este legată de o altă direcție a activității mele de cercetare, care se referă la *producția biomaterialelor prin procese de piroliză și aplicațiile acestora*. În ceea ce privește această direcție, am încercat să mă bazez pe o cercetare în domeniul ingineriei de proces și a generării de produse cu o gamă largă de aplicații, prin cercetări interdisciplinare: procese termico-chimice, analize fizico-chimice, conversie solid-lichid-gaz, remedierea solurilor contaminate, eficiență energetică, ingineria mediului. Scopul a fost dezvoltarea proceselor de poligenerare prin aplicarea conversiei termochimice selective a diferitelor tipuri de biomasă în vederea obținerii de produse pentru diverse utilizări: decontaminarea solului, îngrășăminte, producerea de energie și protecția mediului. Am încerc să răspund la mai multe provocări, cum ar fi procesele de piroliză în diferite configurații, controlul continuu și ajustarea procesului în vederea optimizării acestuia și a producției ulterioare de materiale pe bază de carbon. Funcțiile și aplicațiile biocărbunelui sunt strict dependente de proprietățile lor structurale, termice și fizico-chimice. De exemplu, dimensiunile microporilor de biocărbune dictează multe dintre aplicațiile sale industriale, în timp ce utilizările benefice ale biocărbunelui pentru îmbunătățirea solului pot fi induse de parametrii procesului de piroliză (temperatura sau durata, de exemplu). Ținta cercetării a constat în corelarea între tehnologiile de conversie a biomasei și proprietățile fizico-chimice-termice ale biomaterialelor generate pentru a conduce la materiale funcționale pe bază de carbon, cu aplicații diferite pentru matrici industriale și de mediu.

Ultima parte a tezei conține Planul de dezvoltare profesională, unde sunt detaliate obiectivele propuse, direcțiile de cercetare pentru viitoarea carieră științifică și academică.

Teza de abilitare se încheie cu Concluzii și Referințe.



Rezumat grafic: Materiale funcționale pe bază de carbon produse prin procese de piroliză

ABSTRACT

Today, we are operating in a global increasing demand for renewable fuels and chemicals for the identification of alternative sources to replace fossil fuels. Biomass has potential to be converted into bioenergy and advanced products for protection of the environmental matrices. One result of the biomass conversion is biochar which is recognized as a significant tool due to its promising role in solving many environmental management issues. Producing biochar from biomass appears to be a promising method of achieving greater levels of flexibility for integrating this as a significant instrument of environmental management. There is a real need to convert biomass into such a form that will go beyond all these related aspects with potential utilization for various productive purposes, such as energy production, soil improvement quality and remediation, an industrial material etc.

The Habilitation Thesis titled “Production of Biomaterials with Energy Applicability and for Protection of Environmental Matrices” proposes a complex approach, aiming to present the synthesis of the results generated by the development of polygeneration processes of various products, with a wide variety of uses, bioenergy production, soil quality improvement, soil decontamination and environmental protection. So, it delivers scientific contribution to the recent advances in biomaterials, biofuels, and soil research. The habilitation thesis displays results of the experimental work carried out almost 20 years of research and teaching and could bring progress on the research of biomass pyrolysis, and soil remediation, providing information for people in both academic and industrial societies and stimulating the development of technologies of biomass utilizations. Most of the results included in thesis was performed as a PD researcher for 3 years as Lecturer and then as Associated Professor. The main scientific results have been addressed in a comprehensive manner and published over 70 papers and scientific communications, circulated in national and international journals/conferences, for the ½ of the papers being the first author: single author for 1 book in the field of environmental protection, co-author for 6 scientific books/chapters. Significant achievements in developing various biomass pyrolysis technologies and upgrading pyrolysis products into high quality fuels and functional biomaterials in different areas have been enhanced due to the position of director in 3 projects: PN II - CAPACITIES (Module III) - Bilateral Cooperation Romania – China, PN-II-RU-TD-2008-3, UPB – GEX – 2016, Responsible for research activities in the field of thermal technologies for contaminated soils remediation for 3.5years in a POSCCE project, Principal Coinvestigator regarding pyrolysis process and generation of bio-products in a POC project (director is Professor at Louisiana State University – USA), and researcher for other projects, from which 3 were founded by European Funds: Horizon 2020 (1), FP6 (1), POSDRU (1). In terms of the research activities carried out and that had contributed to obtaining the results

presented here, the key collaborating institutions are: POLITEHNICA University of Bucharest – Romania, Louisiana State University – United States of America, Zhejiang University – China, University of Trento – Italy, Kocaeli University – Turkey, National Research and Development Institute for Soil Science, Agrochemistry and Environment – ICPA Bucharest, National Research and Development Institute of Occupational Safety (INCDPM) - "Alexandru Darabont", UEFISCDI, a public institution subordinated to the Ministry of Education and Research, ACCIONA – Spain – leader in transition towards a low-carbon economy. The postdoctoral fellowship developed for three years has improved my expertise in the field of thermal treatments used for soil remediation and applying these thermal technologies, I initiated a new research direction in Department of Energy Generation and Use from Power Engineering Faculty. For 3.5 years, as Head of research activities regarding thermal technologies for depollution of contaminated soils within a POSCCE type research project, I coordinated and carried out experimental studies and campaigns related to research in thermal processes for soil remediation. After this, the research continued as director for two research projects, where I proposed, developed, and applied technologies using thermo-chemical processes for decontamination of various polluted soil matrices. During the bilateral cooperation project with the fourth-ranked university in China, for 2 years, I developed a collaborative relationship with Chinese professors and researchers from Zhejiang University. Finally, the research and collaboration activities materialized in a Collaboration Agreement concluded between the Faculty of Energy - UPB and the Institute for Thermal Power Engineering - ZHEJIANG University.

The Habilitation Thesis is structured around two research directions: carbon-based biomaterials and their valorization into bioenergy/functional ecological materials and remediation of soils applying conventional and non-conventional technologies. There are a few main sections that illustrate parts of the achieved results produced by the research performed during many years of experimental/empirical/theoretical works in POLITEHNICA University of Bucharest and abroad. The first section refers to *pyrolysis processes for biomass conversion* and presents context, recent advancement, and results generated from the development of thermochemical processes under different configurations to convert biomass to energy or biofuels as biogas, liquid (bio-oil) and solid (biochar) form. Different types of biomass were converted by pyrolysis process in the view of low and high temperature process, heating rate (slow and fast pyrolysis), type of reactors, influential factors, products characterization and usage, environmental assessments.

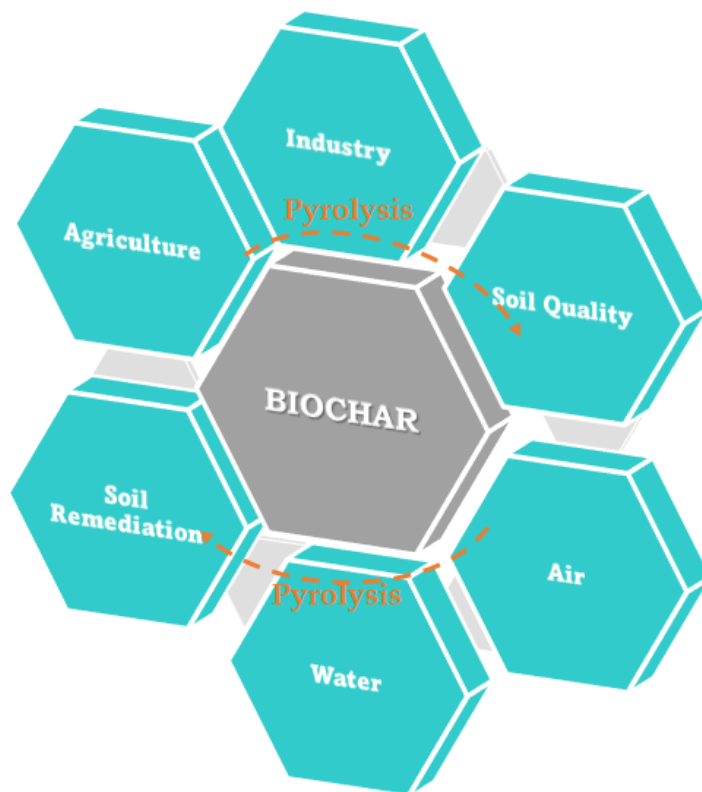
The second section is dedicated to *thermal technologies applied for remediation of contaminated soil*, where results generated from the development at laboratory scale of advanced oxidizing (incineration) and non-oxidizing (pyrolysis) thermal processes as decontamination processes for polluted soils are expounded. This part of the thesis provides important information about thermal processes with high efficiency in pollutants removal from soil matrices. The results from the experimental research studies revealed that pyrolysis could reach over 90% efficiency in petroleum compounds removal from soil.

The next section is related to another accomplishment of my research activity which refers to *biomaterials production by pyrolysis processes and their applications*. Regarding this direction, I tried to build on a research in the field of process engineering and products generation with a large range of applications, through interdisciplinary-research: thermal-chemical processes, physic-chemical analysis, solid-liquid-gas conversion, soil remediation,

energy efficiency, environmental engineering. The aim was to develop polygeneration processes by applying selective thermochemical conversion of different types of biomasses to obtain products for various uses: soil decontamination, fertilizer, energy production and environment protection. I tried to respond to several challenges, such as pyrolysis processes in different configurations, continuous control, and adjustment of process in order to its optimization and further carbon-based materials production. The functions and applications of biochar are strictly dependent by their structural, thermal, and physico-chemical properties. For example, the dimensions of the biochar micropores dictate many of its industrial applications, while the beneficial uses of biochar for soil improvement can be induced by the pyrolysis process parameters (temperature or duration e.g.). The target of the research was a deep correlation between biomass conversion technologies and psyco-chemical-thermal properties of the generated biomaterials to lead to functional carbon materials with different applications for industry and environmental matrices.

The last part of the thesis contains the Professional Development Plan, where the proposed objectives, research directions for the future scientific and academic career are detailed.

The habilitation thesis ends with Conclusions and References.



Graphical abstract: Functional Carbon-Based Materials Produced by Pyrolysis Processes