

ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN BUCUREȘTI



Școala doctorală Cibernetică și Statistică Economică

TEZĂ DE DOCTORAT

Prezentată și susținută public de către autor:

Miruna Elena V. VĂDUVA

Titlul tezei de doctorat:

DINCOLO DE CIFRE: RADIOGRAFIA STATISTICĂ A PIEȚEI DE ENERGIE DIN ROMÂNIA

Conducător de doctorat: Prof. univ.dr. Daniel Traian PELE

Comisia de susținere a tezei de doctorat:

Prof.univ.dr. Claudiu HERȚELIU (președinte)	- Academia de Studii Economice din București
Prof.univ.dr. Mioara IORDAN (referent)	- Institutul De Prognoza Economica din București
Prof.univ.dr. Codruta MARE (referent)	- Universitatea Babeș-Boylai din Cluj-Napoca
Prof.univ.dr. Vasile Alecsandru STRAT (referent)	- Academia de Studii Economice din București
Prof.univ.dr. Daniel Traian PELE (conducător de doctorat)	- Academia de Studii Economice din București

București, 2025

ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN BUCUREȘTI



Școala doctorală Cibernetică și Statistică Economică

TEZĂ DE DOCTORAT

Prezentată și susținută public de către autor:

Miruna Elena V. VĂDUVA

Titlul tezei de doctorat:

**Dincolo De Cifre: O Radiografie Statistică A
Pieței De Energie Din România**

Conducător de doctorat: Prof. univ.dr. Daniel Traian

PELE

Comisia de susținere a tezei de doctorat:

Prof.univ.dr. Claudiu HERȚELIU (președinte - Academia de Studii Economice din București

Prof.univ.dr. Mioara IORDAN (referent) - Institutul De Prognoza Economica din București

Prof.univ.dr. Codruta MARE (referent) - Universitatea Babeș-Boylai din Cluj-Napoca

Prof.univ.dr. Vasile Alecsandru STRAT (referent) - Academia de Studii Economice din București

Prof.univ.dr. Daniel Traian PELE (conducător de doctorat) - Academia de Studii Economice din București

București, Septembrie 2025

**ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN
BUCUREȘTI**

Consiliul pentru Studii Universitare de Doctorat

Școala Doctorală

Cibernetică și Statistică Economică

**DINCOLO DE CIFRE: O RADIOGRAFIE
STATISTICĂ A PIEȚEI DE ENERGIE DIN
ROMÂNIA**

Miruna Elena VĂDUVA

Conducător de doctorat:

Prof.univ.dr. Daniel Traian PELE

București, 2025

Cuprins

1. CONTEXTUL PIEȚEI DE ENERGIE.....	14
DE LA MONOPOL LA PIAȚĂ LIBERĂ	14
RESTRUCTURAREA PIEȚEI DE ENERGIE ELECTRICĂ DIN ROMÂNIA.....	16
Structura Pieței de Energie din România	17
RESTRUCTURAREA PIEȚEI DE ENERGIE ELECTRICĂ INTERNAȚIONALĂ.....	24
Structura Pieței de Energie din Uniunea Europeană.....	27
ABUNDENȚA DE ENERGIE VERDE: NOI PARADIGME PENTRU PROSUMATORI ȘI CAPACITĂȚI DE STOCARE.....	28
Comparație între abordările internaționale	28
Sursele regenerabile între abundență și constrângerile rețelei	28
Prosumatorii – democratizarea producției de energie.....	29
Stocarea energiei – stabilizarea rețelelor energetice	30
CE INFLUENȚEAZĂ PIAȚA?.....	32
Mixul Energetic.....	33
Investiții și Retehnologizări	38
Efectele reglementărilor asupra lichidității pieței forward	39
Tranziția Energetică și Politicile de Mediu în Europa	41
Impactul social al tranziției	42
Prosumatorii	44
CUM SE CREEAZĂ PREȚURILE?	47
Ordinea de Merit	47
Mecanismul de Cuplare prin Preț al Piețelor de Energie Europene.....	48
Paradoxul Prețurilor Negative.....	50
2. IMPACTUL PREȚULUI CERTIFICATELOR DE CARBON ASUPRA PIEȚEI SPOT DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	58
STADIUL ACTUAL AL CUNOASTERII	58
METODOLOGIE	60
Descrierea și Prelucrarea Datelor.....	62

Analiza exploratorie a datelor	63
Testarea staționarității	64
Determinarea Lag-urilor Optime	64
Specificația Matematică a Testul de Cauzalitate Granger	65
Teste și Inferențe Statistice	66
REZULTATE	67
Testarea Staționarității	67
Selecție Lag-uri	69
Rezultatele Testului de Cauzalitate Granger.....	70
Implicații pentru politicile europene și limitări metodologice.....	74
CONCLUZII.....	76
3. INELASTICITATEA CONSUMULUI ȘI IMPLICAȚIILE ASUPRA PREȚULUI ENERGIEI	78
STADIUL ACTUAL AL CUNOASTERII	78
METODOLOGIE	81
Descrierea și Prelucrarea Datelor.....	81
Analiza exploratorie a datelor și testarea staționarității	86
Testul de Cauzalitate Granger.....	86
Modelare SARIMA.....	87
REZULTATE	88
Testul de Cauzalitate Granger.....	88
Selecție Lag-uri	90
Rezultatele Testului de Cauzalitate Granger.....	91
Rezultatele Modelului SARIMA	94
Limitări.....	99
CONCLUZII.....	100
4. COMPARAREA ALGORITMILOR DE PROGNOZĂ PENTRU CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ	102
STADIUL ACTUAL AL CUNOASTERII	102
METODOLOGIE	106

Colectarea și Prelucrarea Datelor	106
Analiza exploratorie a datelor	107
Dezvoltarea si Antrenarea Modelelor	115
REZULTATE	119
N-BEATS	119
SARIMA	129
DISCUȚII.....	145
CONCLUZII.....	147
REFERINȚE BIBLIOGRAFICE	152

REZUMAT

Această teză de doctorat investighează funcționarea pieței de energie electrică din România, cu accent pe mecanismele de formare a prețurilor în Piața pentru Ziua Următoare (PZU), utilizând atât fundamentări teoretice, cât și metodologii statistice avansate.

Cercetarea este structurată în două părți și patru capitole de cercetare. Prima parte coincide cu primul capitol și oferă o analiză comprehensivă a pieței energiei electrice, evidențiind procesele de liberalizare, rolul actorilor principali și impactul diferiților factori structurali asupra formării prețurilor. Tot în aici, se prezintă o evaluare sistematică a cercetărilor existente în domeniu, identificând principalele direcții de investigare științifică.

A doua parte examinează empiric influența pe care o au diferiți factori structurali asupra prețului din piața spot pe parcursul următoarelor trei capitole. Astfel, cel de-al doilea capitol al tezei prezintă relația cauzală dintre prețul certificatelor de emisii de carbon și prețul energiei electrice, demonstrând prin testul de cauzalitate Granger existența unei influențe semnificative a costurilor de mediu asupra prețurilor din PZU. Al treilea capitol analizează elasticitatea consumului în raport cu prețul. Astfel, se confirmă caracterul rigid al cererii de energie electrică, sugerând eficiența limitată a instrumentelor bazate exclusiv pe mecanisme de preț pentru gestionarea consumului. În ultimul capitol de cercetare, teza compară performanța modelelor tradiționale de prognoză (SARIMA) cu algoritmi de *deep learning* (N-Beats) pentru două seturi de date distincte: consumul național de energie electrică și consumul de energie electrică al unui portofoliu specific de clienți. Am ales aceste două seturi de date datorită contrastului dintre ele: în timp ce consumul național reflectă constant întreaga țară, consumul portofoliului este dinamic și limitat geografic, fiind influențat de fluctuațiile lunare ale clienților și de zonele cu prezență comercială accentuată. Rezultatele evidențiază superioritatea metodelor bazate pe rețele neuronale în prognozarea consumului de energie electrică, în special pentru serii temporale complexe.

Contribuțiile originale ale cercetării constau în integrarea perspectivelor teoretice și empirice asupra pieței de energie, oferind dovezi concrete privind relațiile cauzale dintre factori economici și prețuri. Implicațiile practice pentru factorii de decizie și participanții la piață sugerează necesitatea unor abordări multidimensionale în elaborarea politicilor energetice, care să depășească simpla utilizare a semnalelor de preț și să încorporeze soluții tehnologice avansate pentru optimizarea sistemului energetic.

Cuvinte cheie: Energie, Electricitate, SARIMA, N-Beats, Prosumatori, România

ENGLISH SUMMARY

This doctoral thesis investigates the functioning of the Romanian electricity market, with a particular focus on the price formation mechanisms within the Day-Ahead Market (Piața pentru Ziua Următoare – PZU). The research employs both theoretical foundations and advanced statistical methodologies to explore this domain.

The thesis is structured in two parts and comprises four research chapters. The first part, corresponding to Chapter One, offers a comprehensive analysis of the electricity market, highlighting the liberalization processes, the roles of key stakeholders, and the impact of various structural factors on price dynamics. This section also includes a systematic review of existing literature, identifying the main directions of scientific inquiry in the field.

The second part provides an empirical examination of how different structural factors influence spot market prices, developed across the next three chapters. Chapter Two explores the causal relationship between the price of carbon emission certificates and electricity prices, demonstrating—through the application of the Granger causality test—the significant influence of environmental costs on PZU pricing. Chapter Three investigates the price elasticity of electricity demand, confirming the rigid nature of consumption and suggesting the limited effectiveness of purely price-based mechanisms for managing demand. The final research chapter compares the forecasting performance of traditional models (SARIMA) with machine learning algorithms (N-Beats) using two distinct datasets: national electricity consumption and the consumption of a specific customer portfolio. These two datasets were selected to reflect their contrasting characteristics: while national consumption provides a stable, aggregated perspective, the portfolio data is dynamic and geographically constrained, influenced by monthly client turnover and the intensity of commercial presence in certain areas. The results highlight the superiority of neural network-based methods in forecasting electricity consumption, particularly when dealing with complex time series.

The original contributions of this research lie in the integration of theoretical and empirical perspectives on the energy market, offering concrete evidence of causal relationships between economic factors and electricity prices. The practical implications for policymakers and market participants point to the need for multidimensional approaches in energy policy design—approaches that go beyond simple price signals and incorporate advanced technological solutions to optimize the energy system.

Keywords: Energy, Electricity, SARIMA, N-Beats, Prosumers, Romania

MULȚUMIRI

Înainte de toate, doresc să îmi exprim profunda recunoștință față de soțul meu, a cărui susținere constantă a reprezentat un fundament esențial pe parcursul întregului meu demers academic. Sprijinul său necondiționat, manifestat atât la nivel moral și emoțional, cât și prin aportul profesional oferit în momentele cheie ale cercetării mele, a avut un rol decisiv în finalizarea acestei teze de doctorat.

Adresez mulțumiri deosebite domnului profesor coordonator, pentru îndrumarea atentă și pentru deschiderea pe care mi-a oferit-o către lumea cercetării academice, precum și pentru toate sfaturile, observațiile și încurajările primite de-a lungul acestui parcurs complex. Ghidajul său a fost o sursă constantă de inspirație și rigoare științifică.

De asemenea, sunt profund recunoscătoare bunilor mei colegi și prieteni, Andrei Banu și Alexandra Avram, care mi-au fost alături și m-au consiliat pe aspecte specifice din domeniul pieței de energie, contribuind semnificativ la clarificarea și aprofundarea tematicii cercetate.

Transmit sincere mulțumiri comisiei de doctorat, pentru timpul, atenția și exigența de care au dat dovadă în evaluarea acestei lucrări. Observațiile și recomandările lor au fost extrem de valoroase pentru consolidarea finală a tezei.

În egală măsură, sunt recunoscătoare tuturor colegilor, profesorilor și profesioniștilor pe care i-am întâlnit de-a lungul acestui parcurs doctoral, a căror experiență, idei și perspective mi-au îmbogățit cunoașterea și mi-au modelat gândirea critică.

Nu în ultimul rând, adresez cele mai calde mulțumiri surorii mele și întregii familii extinse, care au reprezentat pentru mine o sursă constantă de susținere, încredere și echilibru emoțional. Afecțiunea lor necondiționată m-a încurajat să merg înainte în momentele de provocare și să celebrez fiecare mic succes obținut pe acest drum.

Această lucrare este dedicată tuturor celor care au crezut în mine și m-au sprijinit în această călătorie academică, contribuind, fiecare în felul său, la realizarea unui proiect de suflet.