

## Raport de Similitudine

## Metadata

Denumirea organizației

1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia

Titlu

PopOvidiuLucrare de disertatie

Autor

Coordonator

PopOvidiuLector Ovidiu Domsa

Unitate organizațională

Facultatea de Informatică și Inginerie

## Detalii Similitudini

Vă rugăm să aveți în vedere faptul că valori ridicate ale coeficienților nu indică automat plagiat. Raportul trebuie să fie analizat de o persoană autorizată.



25  
Lungimea frazelor pentru Coeficientul de Similitudine 2



8437  
Lungimea în cuvinte



61102  
Lungimea în caractere

## Avertismente și alerte

În această secțiune, puteți găsi informații referitoare la alterări ale textului a căror scop să fie evitarea detectării. Aceste alterări nu pot fi sesizate de persoanele care evaluează documentul imprimat sau citit pe calculator, dar ele influențează analiza făcută de sistem și coeficienții de similitudine. Vă rugăm să analizați dacă aceste alterări sunt intenționate sau nu.

Caractere din alte alfabet	ß	3
Extindere	A→	0
Micro-spații	·	0
Caractere albe		0
Parafrazări (SmartMarks)	a	1

## Listele similitudinilor

Mai jos găsiți o listă de surse. Această listă conține surse din diferite baze de date. Culoarea textului indică sursa în care a fost găsit. Aceste surse și valorile coeficientului de similitudine nu reflectă plagiatul direct. Este necesar să deschideți fiecare sursă, să analizați conținutul și corectitudinea citării sursei.

## Cele mai lungi 10 fragmente

Culoarea în text

NR.	TITLUL SAU SURSA URL (BAZA DE DATE)	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
1	<a href="https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_proprie_raspundere.docx">https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_proprie_raspundere.docx</a>	97 1.15 %
2	Disertatie-Sas Anamaria.docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	13 0.15 %
3	Disertatie-Sas Anamaria.docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	13 0.15 %
4	<a href="https://jeblog.info/valorificarea-surselor-de-energie-regenerabila-pentru-a-atenua-schimbarile-climatice/">https://jeblog.info/valorificarea-surselor-de-energie-regenerabila-pentru-a-atenua-schimbarile-climatice/</a>	12 0.14 %

5	Disertatie-Sas Anamaria.docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	11 0.13 %
6	Disertatie-Sas Anamaria.docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	7 0.08 %
7	<a href="https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_propre_raspundere.docx">https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_propre_raspundere.docx</a>	7 0.08 %
8	Lucrare_Boca_Catalina (1).docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	6 0.07 %
9	Impactul digitalizării contabilității entităților economice prin utilizarea tehnologiilor Cloud Computing și RPA ( Robotic Process Automation); oportunități și riscuri 11/17/2023 Valahia University of Targoviste (Stiinte Economice)	6 0.07 %
10	Impactul digitalizării contabilității entităților economice prin utilizarea tehnologiilor Cloud Computing și RPA ( Robotic Process Automation); oportunități și riscuri 11/17/2023 Valahia University of Targoviste (Stiinte Economice)	6 0.07 %

#### din Baza de Date RefBooks (0.00 %)

NR.	TITLU	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
-----	-------	------------------------------

#### din Baza de Date Internă (0.59 %)

NR.	TITLU	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
1	Disertatie-Sas Anamaria.docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	44 (4) 0.52 %
2	Lucrare_Boca_Catalina (1).docx 6/30/2022 1 Decembrie 1918 University of Alba Iulia (Facultatea de Științe Economice)	6 (1) 0.07 %

#### din Baze de Date Externe (0.14 %)

NR.	TITLU	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
1	Impactul digitalizării contabilității entităților economice prin utilizarea tehnologiilor Cloud Computing și RPA ( Robotic Process Automation); oportunități și riscuri 11/17/2023 Valahia University of Targoviste (Stiinte Economice)	12 (2) 0.14 %

#### din Resursele Internetului (1.37 %)

NR.	SURSA URL	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
1	<a href="https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_propre_raspundere.docx">https://www.apubb.ro/application/files/7016/4120/4929/Declaratie_pe_propre_raspundere.docx</a>	104 (2) 1.23 %
2	<a href="https://jeblog.info/valorificarea-surselor-de-energie-regenerabila-pentru-a-atenua-schimbarile-climatice/">https://jeblog.info/valorificarea-surselor-de-energie-regenerabila-pentru-a-atenua-schimbarile-climatice/</a>	12 (1) 0.14 %

#### Lista fragmentelor acceptate (nu sunt fragmente acceptate)

NR.	CUPRINS	CUVINTE IDENTICE (FRAGMENTE)
-----	---------	------------------------------

## LUCRARE DE DISERTAȚIE

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC, ABSOLVENT,  
LECT. UNIV. DR. DOMȘA OVIDIU POP OVIDIU BOGDAN

ALBA IULIA  
2025

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
UNIVERSITATEA "1 DECEMBRIE 1918" DIN ALBA IULIA  
FACULTATEA DE INFORMATICĂ ȘI INGINERIE  
MASTER: PROGRAMARE AVANSATĂ ȘI BAZE DE DATE

PRINCIPII PRIVIND ANALIZA, MONITORIZAREA ȘI REGULARIZAREA CONSUMULUI ȘI A PRODUCȚIEI DE ENERGIE ELECTRICĂ

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC, ABSOLVENT,  
LECT. UNIV. DR. DOMȘA OVIDIU POP OVIDIU BOGDAN

ALBA IULIA  
2025

### Declarație

Prin prezenta declar că **Lucrarea de** disertație cu "Principii privind analiza, monitorizarea și regularizarea consumului și a producției de energie electrică" este scrisă de mine și nu a mai fost prezentată niciodată la o altă facultate sau instituție de învățământ superior din țară sau străinătate. De asemenea, declar că toate sursele utilizate, inclusiv cele de pe Internet, sunt indicate în lucrare, cu respectarea regulilor de evitare a plagiatului: 1. toate fragmentele de text reproduse exact, chiar și în traducere proprie din altă limbă, sunt scrise între ghilimele și dețin referința precisă a sursei; 2. reformularea în cuvinte proprii a textelor scrise de către alți autori deține referința precisă; 3. rezumarea ideilor altor autori deține referința precisă la textul original.

Data:.....

Semnătura: .....

Cuprins

1. Introducere	5
2. Cadrul teoretic al gestionării energiei electrice	7
2.1 Energia electrică - definiție și caracteristici generale	7
2.2 Surse de producție a energiei electrice	7
2.3 Caracteristicile consumului de energie	7
2.4 Rețelele electrice și provocările actuale	8
2.5 Digitalizarea sectorului energetic	8
2.6 Concluzii	8
3. Metode moderne de monitorizare și analiză a consumului energetic	10
3.1 Importanța monitorizării consumului de energie	10
3.2 Tehnologii de monitorizare - smart metering și IoT	10
3.3 Tehnici de analiză a datelor energetice	11
3.4 Provocări în colectarea și interpretarea datelor	11
3.5 Relevanța seturilor de date utilizate în prezenta lucrare	11
3.6 Concluzii	12
4. Analiza vizuală a datelor energetice	13
4.1 Rolul vizualizării datelor în analiza energetică	13
4.2 Evoluția utilizării carbunelui și a biomasei tradiționale	13
4.3 Evoluția surselor de energie emergente: Petrol, Gaze Naturale și Hidroenergie	15
4.3 Evoluția ponderii relative a surselor de energie în consumul global	17
4.3.1 Dominanța istorică a biomasei tradiționale	18
4.3.2 Ascensiunea combustibililor fosili (cărbune, petrol, gaze)	18
4.3.3 Apariția și consolidarea surselor regenerabile și a celor nucleare	18
4.3.4 Trecerea de la dependență la diversificare	18
4.4 Evoluția cumulativă a consumului global de energie, pe surse	20
4.5 Structura consumului energetic global în anul 1890	21
4.6 Contribuția surselor regenerabile și a energiei nucleare în anul 2022	24
4.7 Evoluția surselor regenerabile și a energiei nucleare în perioada 1999-2009	26
4.8 Volatilitatea consumului de energie primară la nivel global	27

4.9	Clasificarea țărilor în funcție de dinamica istorică a consumului de energie	30
4.10	Tipologii globale de creștere energetică: analiza centroidelor și clasificarea țărilor	33
4.11	Concluzii	35
5	Pregătirea și standardizarea datelor energetice pentru o viitoare analiză avansată	37
5.1	Introducere	37
5.2	Descrierea seturilor de date	37
5.3	Unificarea și restructurarea datelor	37
5.3	Pivotare, completare și normalizare numerică	38
5.4	Concluzii	38
6	Perspective viitoare și tendințe emergente în sectorul energetic digitalizat	39
6.1	Evoluția sistemelor energetice spre rețele descentralizate	39
6.2	Rolul inteligenței artificiale în optimizarea rețelelor energetice	39
6.3	Tranziția către modele energetice sustenabile și circulare	39
6.4	Provocări etice, de securitate și confidențialitate	40
6.5	Direcții de cercetare viitoare și recomandări strategice	40
6.6	Concluzii	40
	Bibliografie	42
	Anexe	44

## 1. Introducere

Într-un context global marcat de tranziția către surse de energie durabile și de creșterea accentuată a consumului energetic, problematica eficienței în utilizarea și gestionarea energiei electrice capătă o importanță majoră, atât din perspectivă economică, cât și ecologică [1]. Lucrarea de față abordează un subiect de actualitate - analiza, monitorizarea și regularizarea consumului și a producției de energie electrică - încadrându-se într-un cadru de cercetare esențial pentru viitorul infrastructurilor energetice inteligente.

Alegerea acestei teme a fost motivată de interesul personal pentru domeniul energiei, dar și de provocările tot mai frecvente întâlnite la nivelul rețelelor electrice în ceea ce privește echilibrarea cererii și ofertei, integrarea surselor regenerabile și optimizarea distribuției energetice. De asemenea, tema se aliniază obiectivelor europene privind tranziția verde și digitalizarea sistemelor energetice.

Pe parcursul realizării lucrării, am întâmpinat dificultăți legate de lipsa accesului direct la date reale din sistemele de distribuție, motiv pentru care am utilizat seturi de date deschise și simulări. De asemenea, selecția metodelor de analiză a necesitat o documentare extensivă, dată fiind complexitatea tehnică a temei. Metodologia utilizată combină cercetarea teoretică (revizuirea literaturii de specialitate) cu analiza cantitativă (modelare și simulare). În ultimii ani, conceptul de "smart grid" a căpătat o amploare tot mai mare în literatura de specialitate, propunând o reconfigurare profundă a modului în care energia este produsă, transportată și consumată. În acest context, tehnologiile de monitorizare inteligentă, prognoza bazată pe date și algoritmi de regularizare automată devin componente esențiale ale unei rețele electrice moderne, capabile să răspundă dinamic cerințelor tot mai complexe ale utilizatorilor.

În demersul analitic al lucrării, am utilizat două seturi de date relevante disponibile public: Global Energy Substitution și Primary Energy Consumption[2], care oferă o imagine de ansamblu asupra tranziției energetice la nivel mondial și a evoluției consumului de energie primară pe regiuni și surse. Aceste dataseturi au fost procesate și analizate cu ajutorul unor instrumente statistice și de vizualizare, pentru a evidenția tendințele majore, dezechilibrele și oportunitățile de optimizare a consumului și producției energetice. Analiza acestor date stă la baza concluziilor formulate în cadrul studiului de caz și contribuie la validarea propunerilor tehnice dezvoltate în lucrare.

Utilizarea datelor reale în procesul de luare a deciziilor energetice devine tot mai importantă în contextul în care politicile publice, investițiile în infrastructură și strategiile de eficientizare trebuie să fie bazate pe informații clare, obiective și ușor de interpretat[3]. Lucrarea aduce, în acest sens, o contribuție valoroasă la înțelegerea modului în care datele pot fi transformate în cunoaștere aplicabilă, oferind totodată o perspectivă integratoare între tehnologie, sustenabilitate și politici energetice.

Prin această lucrare doresc să contribui, într-o manieră originală, la înțelegerea și dezvoltarea unor mecanisme eficiente de analiză și control al consumului de energie electrică, într-un cadru în care sustenabilitatea, digitalizarea și eficiența energetică nu mai sunt opțiuni, ci cerințe fundamentale ale viitorului.

## 2. Cadru teoretic al gestionării energiei electrice

### - Energia electrică - definiție și caracteristici generale

Energia electrică reprezintă una dintre cele mai utilizate forme de energie în societatea modernă, fiind indispensabilă atât în activitățile industriale, cât și în viața cotidiană. Se caracterizează prin ușurința cu care poate fi transportată și transformată, precum și prin flexibilitatea în utilizare. În esență, energia electrică este produsul interacțiunii dintre sarcinile electrice și câmpurile electromagnetice, fiind generată în centrale electrice și distribuită prin rețele specializate către consumatori [4].

### - Surse de producție a energiei electrice

Producerea energiei electrice se realizează prin conversia altor forme de energie (mecanică, chimică, solară etc.) în energie electrică. În funcție de natura resurselor utilizate, sursele pot fi clasificate în:

1. Surse convenționale (fosile): cărbune, gaze naturale, petrol. Acestea domină încă producția globală, dar sunt asociate cu emisii ridicate de CO<sub>2</sub> și epuizarea resurselor.

2. Surse regenerabile: energie solară, eoliană, hidro, geotermală și biomasă. Acestea sunt inepuizabile și contribuie semnificativ la reducerea impactului ecologic al sistemului energetic.

Trecerea de la sursele convenționale la cele regenerabile este un obiectiv central în politicile energetice actuale, dar implică o serie de provocări tehnologice și logistice legate de intermitență, stocare și adaptarea rețelelor.

### - Caracteristicile consumului de energie

Consumul de energie este influențat de factori multipli: climat, dezvoltare economică, urbanizare, comportament individual, structura industrială etc [5]. Analiza acestuia presupune o înțelegere a tipologiilor de consumatori (rezidențiali, industriali, comerciali) și a modului în care aceștia interacționează cu rețeaua energetică. În plus, sezonabilitatea și variațiile orare ale consumului impun o monitorizare atentă și instrumente de prognoză eficiente.

### - Rețelele electrice și provocările actuale

Rețelele electrice moderne funcționează într-un regim din ce în ce mai dinamic, determinat de integrarea surselor regenerabile și de participarea activă a consumatorului (prosumator). Printre provocările actuale se numără:

1. Necesitatea menținerii echilibrului între producție și consum în timp real;
2. Gestionarea congestiilor în rețea;
3. Creșterea cerințelor privind securitatea și stabilitatea sistemului;
4. Asigurarea unui sistem flexibil și scalabil, adaptat la diversitatea producătorilor și consumatorilor.

- Digitalizarea sectorului energetic

Transformarea digitală a sistemului energetic, sub forma implementării conceptului de smart grid, presupune utilizarea tehnologiilor informatice pentru a monitoriza, analiza și optimiza fluxurile energetice. Elementele centrale ale acestui proces includ:

1. Smart metering - contoare inteligente ce oferă informații detaliate despre consum;
2. Internet of Things (IoT) - rețele de senzori care colectează și transmit date în timp real;
3. Big Data și inteligență artificială - pentru analiză predictivă și decizii automatizate;
4. Platforme de gestionare energetică - care integrează consumatori, producători și operatori de sistem.

Digitalizarea permite o mai bună gestionare a cererii și ofertei, reducerea pierderilor și personalizarea serviciilor energetice, contribuind la eficientizarea întregului ecosistem energetic [6].

- Concluzii

Prezentarea cadrului teoretic a permis evidențierea principalelor aspecte care definesc gestionarea energiei electrice: de la modul de generare, până la distribuție, consum și digitalizare. Energia electrică se distinge prin capacitatea de a fi transportată și utilizată cu eficiență într-o varietate de domenii, ceea ce justifică rolul său central în infrastructura energetică.

Diversificarea surselor de producție, în special prin integrarea resurselor regenerabile, devine o prioritate strategică, dar presupune dificultăți legate de intermitență și adaptarea rețelor. În paralel, comportamentul consumatorilor și sezonalitatea cererii impun o înțelegere detaliată a tipologiilor de consum și a mecanismelor de echilibrare a rețelei.

Rețelele electrice moderne trebuie să răspundă unor cerințe **din ce în ce mai complexe**, iar digitalizarea **joacă un rol esențial în acest** proces. Prin intermediul tehnologiilor inteligente, este posibilă o gestionare mai eficientă a fluxurilor energetice, o mai bună adaptare la condițiile variabile și un control mai precis al consumului. Toate aceste elemente fundamentează nevoia unei abordări integrate și flexibile în managementul energiei electrice.

### 3. Metode moderne de monitorizare și analiză a consumului energetic

- Importanța monitorizării consumului de energie

În contextul actual, monitorizarea consumului de energie electrică nu mai este o opțiune tehnică, ci o necesitate strategică. Aceasta permite:

1. Înțelegerea comportamentului consumatorilor;
2. Identificarea pierderilor și a ineficiențelor;
3. Optimizarea utilizării resurselor;
4. Reducerea costurilor și a emisiilor poluante;
5. Susținerea deciziilor de investiții și politici publice.

O monitorizare eficientă presupune colectarea, stocarea și analiza continuă a datelor, într-un sistem integrat, scalabil și securizat.

- Tehnologii de monitorizare - smart metering și IoT

Tehnologia smart metering permite măsurarea automată[7], în timp real, a consumului energetic și transmiterea datelor către furnizori și utilizatori finali.

Dispozitivele moderne oferă funcții precum:

1. Citirea la distanță;
2. Profiluri orare de consum;
3. Alerte pentru consum anormal sau întreruperi;
4. Interacțiuni cu aplicații mobile și platforme web.

Integrarea cu IoT (Internet of Things) extinde capacitățile sistemelor de monitorizare prin conectarea a mii de senzori, dispozitive și echipamente, generând volume mari de date (Big Data). Aceste informații pot fi prelucrate și analizate pentru a detecta modele, tendințe sau anomalii.

- Tehnici de analiză a datelor energetice

În analiza consumului energetic, datele colectate devin valoroase abia în urma procesării lor. Metodele moderne de procesare a datelor includ:

1. Analiza descriptivă - oferă o imagine generală asupra consumului, cu valori medii, maxime, minime, variații sezoniere etc.;
2. Analiza predictivă - folosește modele statistice și algoritmi de machine learning pentru a anticipa cererea viitoare;
3. Analiza prescriptivă - recomandă acțiuni optime (ex: reducerea sarcinii în orele de vârf).

Instrumente precum Python (biblioteci: Pandas, NumPy, Scikit-learn), R sau platforme ca Power BI și Tableau sunt utilizate frecvent pentru prelucrarea datelor energetice [8].

- Provocări în colectarea și interpretarea datelor

Chiar dacă accesul la date este tot mai facil, există o serie de dificultăți în utilizarea acestora:

1. Calitatea datelor - pot exista erori, lipsuri, neconcordanțe;
2. Heterogenitatea surselor - date provenite din sisteme diferite pot fi dificil de integrat;
3. Volumul mare de informații - presupune capacitate de stocare și procesare sporită;
4. Confidențialitatea și securitatea - datele energetice pot conține informații sensibile despre utilizatori.

Aceste provocări impun dezvoltarea unor soluții robuste, flexibile și sigure, care să poată susține monitorizarea în timp real și luarea de decizii informate.

- Relevanța seturilor de date utilizate în prezenta lucrare

Pentru demonstrarea aplicabilității metodelor prezentate, au fost utilizate două seturi de date de tip open-source:

1. Global Energy Substitution - oferă date despre modul în care diferite regiuni își modifică mixul energetic în funcție de politici și tehnologii;
2. Primary Energy Consumption - conține informații despre consumul total de energie primară pe țări, surse și perioade de timp.

Aceste seturi de date au fost prelucrate pentru a evidenția modele (patterns) de consum, impactul creșterii surselor regenerabile și corelațiile dintre dezvoltarea economică și cererea de energie. Analiza acestor date permite formularea de scenarii de regularizare și propunerea de soluții tehnice sustenabile.

- Concluzii

Monitorizarea și analiza consumului energetic reprezintă instrumente esențiale în eficientizarea utilizării resurselor și în susținerea deciziilor tehnico-

economice. Implementarea tehnologiilor moderne, precum contoarele inteligente și rețelele IoT, permite colectarea de date detaliate și în timp real, oferind o imagine precisă asupra comportamentului de consum.

Tehnicile avansate de analiză a datelor, de la metode descriptive până la algoritmi de machine learning, transformă aceste informații brute în suport concret pentru previzionare și optimizare. Cu toate acestea, provocările legate de calitatea și integrarea datelor, volumul acestora și riscurile asociate securității impun dezvoltarea unor sisteme robuste și flexibile.

Utilizarea seturilor de date open-source în cadrul lucrării demonstrează aplicabilitatea concretă a acestor metode și relevanța lor în analiza consumului energetic la scară largă. Astfel, metodele moderne de monitorizare și analiză nu doar că oferă o înțelegere aprofundată a fenomenelor energetice, ci contribuie direct la formularea unor soluții sustenabile și bine fundamentate.

#### 4. Analiza vizuală a datelor energetice

- Rolul vizualizării datelor în analiza energetică

Vizualizarea datelor reprezintă un instrument esențial în cercetarea modernă, permițând interpretarea rapidă și intuitivă a unor volume mari de informații. În contextul energetic, unde complexitatea și dinamismul sistemelor sunt ridicate, utilizarea graficelor contribuie la:

1. evidențierea tendințelor istorice;
2. compararea evoluției diferitelor surse de energie;
3. identificarea dezechilibrelor de consum și producție;
4. susținerea luării deciziilor în politici publice și optimizări tehnice.

Pe parcursul acestei lucrări, au fost generate o serie de vizualizări relevante pe baza dataseturilor selectate, cu scopul de a ilustra tranziția energetică globală și comportamentul diferitelor surse în raport cu consumul total.

- Evoluția utilizării carbunelui și a biomasei tradiționale

Consumul de energie reflectă nu doar dezvoltarea tehnologică, ci și tranzițiile majore din istoria economică și socială a umanității. Cărbunele și biomasa tradițională au fost, fiecare în mod diferit, fundamentele unor epoci energetice distincte.

Biomasa tradițională, utilizată sub formă de lemn de foc, resturi vegetale sau excremente uscate, a fost principala sursă de energie în perioada preindustrială, cu o răspândire largă în gospodăriile rurale, în special în țările în curs de dezvoltare. Consumul acesteia era direct legat de disponibilitatea locală a resurselor naturale și nu presupunea infrastructură complexă. Totuși, randamentul energetic era scăzut, iar efectele asupra sănătății (prin ardere în spații închise) și asupra mediului (defrișări) erau semnificative.

Cărbunele, în schimb, a fost simbolul tranziției către industrializare. Odată cu Revoluția Industrială, utilizarea carbunelui a cunoscut o creștere rapidă, devenind motorul centralelor electrice, al industriei grele și al transportului feroviar. Fiind o sursă concentrată de energie, cu costuri reduse în epocă și disponibilitate extinsă în multe regiuni, cărbunele a propulsat economiile dezvoltate și a dus la urbanizare accelerată. Totodată, a marcat începutul unei dependențe masive de combustibili fosili.

Pe parcursul secolului XX, datele prezentate în Figura 1 confirmă această evoluție divergentă:

1. Biomasa tradițională a înregistrat un consum relativ constant, fără variații majore, ceea ce indică o stagnare a acestei surse în raport cu dezvoltarea globală.
2. Cărbunele a avut o curbă ascendentă abruptă, în special după 1950, atingând un vârf în deceniile recente, în ciuda eforturilor de reducere a utilizării sale în unele țări dezvoltate.

Această tendință ridică o serie de probleme actuale:

1. Impactul ecologic al carbunelui este profund, acesta fiind una dintre principalele surse de emisii de CO<sub>2</sub> și poluare a aerului;
2. Persistența utilizării biomasei în regiunile sărace arată existența unor inegalități energetice globale și a lipsei de acces la surse moderne, curate;
3. Necesitatea echilibrării mixului energetic devine evidentă, iar politicile internaționale urmăresc deopotrivă eliminarea treptată a carbunelui și modernizarea accesului la energie în zonele dependente de biomasă.

Această analiză istorică și comparativă a celor două surse de energie ilustrează modul în care dezvoltarea economică, tehnologia și politicile energetice s-au intersectat de-a lungul timpului. În același timp, justifică tranziția actuală spre un mix energetic durabil, bazat pe surse regenerabile, dar și pe soluții digitale de monitorizare și optimizare a consumului.

#### 4.3 Evoluția surselor de energie emergente: Petrol, Gaze Naturale și Hidroenergie

Tranziția energetică globală nu a fost un proces liniar, ci unul caracterizat de etape distincte în care diverse surse de energie au cunoscut ascensiuni semnificative, influențate de revoluții industriale, descoperiri tehnologice și contexte geopolitice. Sursele emergente - petrolul, gazele naturale și hidroenergia - reprezintă o etapă intermediară esențială între combustibilii tradiționali (biomasă, cărbune) și energiile regenerabile moderne (solară, eoliană, bioenergie avansată).

Analiza graficului din Figura 2 evidențiază mai multe aspecte relevante:

Petrolul - combustibilul dominant al secolului XX

Utilizarea petrolului a început să crească semnificativ începând cu sfârșitul secolului XIX, odată cu apariția motorului cu ardere internă și dezvoltarea industriei auto. Creșterea abruptă a consumului său este asociată cu:

1. urbanizarea accelerată și extinderea rețelelor de transport;
2. militarizarea și industrializarea țărilor în perioada interbelică și postbelică;
3. dependența sectorului transporturilor de produse petroliere (benzină, motorină, kerosen).

În grafic, petrolul domină vizual între anii 1950 și 2000, indicând statutul său de sursă energetică globală primară, dar și de factor major al instabilității geopolitice (crizele petroliere din 1973 și 1979).

Gazele naturale - o tranziție "mai curată"

Gazele naturale apar mai târziu ca sursă semnificativă în mixul energetic. Începând cu anii 1960, consumul lor crește rapid, fiind impulsat de:

1. extinderea rețelelor de distribuție urbană (pentru încălzire și gătit);
2. utilizarea în centrale de cogenerare de înaltă eficiență;
3. presiunea de a reduce emisiile de carbon și particule poluante comparativ cu cărbunele.

Deși tot combustibil fosil, gazul este adesea privit ca un "combustibil de tranziție" între era fosilă și viitorul regenerabil. Graficul reflectă această evoluție constantă, dar mai puțin explozivă decât a petrolului.

Hidroenergia - prima opțiune regenerabilă pe scară industrială

Hidroenergia ocupă un loc aparte în analiza surselor emergente. Deși folosită din Antichitate (roți hidraulice), transformarea sa în electricitate a devenit fezabilă abia la începutul secolului XX. Hidrocentralele mari (ex. Hoover Dam în SUA, Porțile de Fier în România), au fost:

1. o soluție ieftină și sustenabilă pentru producția de bază de energie electrică;
2. utilizate masiv în țările cu relief muntos sau râuri puternice;
3. integrate în strategii de dezvoltare regională și infrastructură națională.

Graficul arată o creștere stabilă, cu o tendință de platou în ultimele decenii, semn că potențialul hidroenergetic ușor accesibil este aproape complet exploatat.

Această reprezentare vizuală complexă sugerează un moment de echilibru aparent în care:

1. sursele emergente încep să compenseze scăderile din utilizarea cărbunelui și biomasei;
2. petrolul atinge un plafon, în timp ce gazele și hidroenergia îl însoțesc în mixul de tranziție;
3. pregătirea pentru integrarea masivă a surselor regenerabile moderne devine tot mai evidentă.

Datele susțin ideea că perioada 1950-2000 a fost una de maximă diversificare a mixului energetic, marcând o trecere graduală de la dominanța unei singure surse (cărbune) la un sistem cu mai multe componente flexibile, dar și cu riscuri ecologice și politice sporite.

- Evoluția ponderii relative a surselor de energie în consumul global

Pentru o înțelegere mai nuanțată a tranzițiilor energetice globale, este esențială analiza ponderii procentuale a fiecărei surse în cadrul consumului total, nu doar a volumului absolut (TWh). Această abordare evidențiază echilibrul dintre surse și modul în care au evoluat în raport una cu cealaltă, indiferent de creșterea consumului total de energie. Graficul din Figura 3 oferă o imagine sintetică a acestei evoluții pe mai mult de două secole:

#### 4.3.1 Dominanța istorică a biomasei tradiționale

Până la mijlocul secolului XIX, biomasa tradițională (lemn, resturi vegetale, bălegar) era responsabilă pentru aproape întregul consum de energie.

Declinul său progresiv reflectă industrializarea globală, urbanizarea și introducerea unor surse cu densitate energetică mai mare.

#### 4.3.2 Ascensiunea combustibililor fosili (cărbune, petrol, gaze)

1. Cărbunele a preluat conducerea în a doua jumătate a secolului XIX și începutul secolului XX, devenind coloana vertebrală a revoluției industriale.
2. Petrolul a început să domine începând cu anii 1950, în contextul expansiunii transportului motorizat și a petrochimiei.
3. Gazele naturale, deși mai "târzii", au avut o creștere constantă, devenind în prezent o componentă majoră a mixului energetic [10].

Împreună, aceste trei surse au asigurat majoritatea energiei globale timp de peste 100 de ani, dar încep treptat să piardă teren.

#### 4.3.3 Apariția și consolidarea surselor regenerabile și a celor nucleare

1. Hidroenergia este prima sursă regenerabilă industrializată, vizibilă în grafic încă din prima jumătate a secolului XX.
2. Energia nucleară crește rapid începând cu anii 1970, dar rămâne o sursă controversată și stagnată în unele regiuni.
3. Sursele regenerabile moderne - solar, eolian, bioenergie modernă - devin vizibile în grafic abia în ultimele două decenii, dar cresc accelerat și își consolidează poziția, în special după 2010.

#### 4.3.4 Trecerea de la dependență la diversificare

Graficul reflectă o realitate importantă: sistemul energetic global trece de la o dependență de o singură sursă dominantă, la un model mai echilibrat, diversificat și descentralizat. Această tendință este determinată de:

1. constrângerii climatice și reglementări de mediu;
2. avans tehnologic în producția de energie verde;
3. democratizarea producției energetice (ex. prosumatori, rețele locale);
4. reducerea costurilor de producție pentru fotovoltaic și eolian.

Această analiză procentuală oferă o imagine clară a dinamicii mixului energetic global și a momentului în care ne aflăm în prezent: un punct de cotitură în care energiile regenerabile încep să devină vizibile nu doar ca alternativă, ci ca viitor dominant. Cărbunele, petrolul și biomasa tradițională pierd teren, în timp ce mixul devine tot mai variat, mai curat și mai digitalizat [11].

- Evoluția cumulativă a consumului global de energie, pe surse

Graficul din Figura 4 oferă o privire de ansamblu asupra dinamicii globale a consumului de energie în ultimele două secole. Sunt incluse toate sursele majore, reprezentate printr-un grafic de tip "stackplot", care evidențiază nu doar valorile absolute, ci și contribuția fiecărei surse la consumul total în timp. Câteva observații-cheie:

1. Începând cu anii 1800, biomasa tradițională domina consumul mondial, reflectând dependența populației globale de lemn și resurse organice pentru încălzire și gătit.
2. Odată cu revoluția industrială, cărbunele a devenit rapid principalul vector energetic, mai ales în Europa și America de Nord.
3. După 1950, petrolul și gazele naturale au explodat ca utilizare, impulsionate de dezvoltarea transporturilor și urbanizare.
4. Hidroenergia, urmată de nuclear și regenerabile moderne (solar, eolian, bioenergie modernă), au început să se remarce în ultimele decenii.

Forma graficului sugerează un model evolutiv în trei etape:

1. Dominanța surselor tradiționale (biomasă);
2. Ascensiunea combustibililor fosili (cărbune, petrol, gaze);
3. Diversificarea și apariția tranziției energetice spre surse curate.

Această sinteză vizuală consolidează faptul că mixul energetic global este în continuă transformare, cu un trend clar de migrare spre surse sustenabile și eficiente, însoțit de digitalizare și inovație tehnologică.

- Structura consumului energetic global în anul 1890

Pentru a înțelege în profunzime modul în care sistemul energetic global a evoluat de-a lungul ultimului secol și jumătate, este esențial să identificăm punctul de plecare. Anul 1890 reprezintă o perioadă de tranziție istorică între dominația surselor tradiționale și începuturile timide ale surselor moderne.

Graficul din Figura 5 oferă o imagine sugestivă a repartizării surselor de energie în acea epocă.

Sunt evidențiate următoarele aspecte esențiale:

#### 1. Supremația biomasei tradiționale

Cu o pondere de peste 50% în totalul consumului global de energie, biomasa tradițională - adică lemnul de foc, resturi vegetale și alte materiale organice combustibile - constituia principala sursă de energie a omenirii. Aceasta era folosită preponderent în gospodărie, în special în mediul rural, pentru:

4. gătit;
5. încălzire;



6. mici activități meșteșugărești sau preindustriale.

Această dependență ridicată de biomasa solidă avea implicații sociale și de mediu importante:

7. presiune asupra resurselor forestiere;

8. emisii ridicate de particule în spațiile închise, afectând sănătatea respiratorie;

9. eficiență energetică foarte scăzută (randamente termice sub 20%).

2. Ascensiunea cărbunelui - începutul erei industriale

La sfârșitul secolului XIX, cărbunele devenise deja sursa principală de energie pentru industrie și transport. Cu o pondere apropiată de cea a biomasei, acesta era utilizat în:

10. locomotive cu aburi;

11. cuptoare industriale;

12. centrale termoelectrice timpurii;

13. producerea aburului pentru fabrici și mine.

Cărbunele a reprezentat pilonul energetic al Revoluției Industriale, oferind o sursă concentrată de energie ușor transportabilă. Totodată, a fost și începutul dependenței globale de combustibili fosili cu impact de mediu masiv: emisii de CO<sub>2</sub>, ploai acide, poluare atmosferică urbană.

3. Absența surselor moderne - începuturi timide

Celelalte surse de energie prezente în setul de date - precum petrolul, gazele naturale, hidroenergia, energia nucleară, solară, eoliană sau bioenergie modernă - fie nu erau încă utilizate, fie existau doar la nivel experimental. În 1890:

14. Petrolul era extras la scară redusă, dar utilizarea sa era limitată în absența unui sector auto dezvoltat;

15. Gazele naturale nu beneficiau încă de infrastructură de transport (rețele, conducte);

16. Hidroenergia era utilizată doar în mori de apă și mecanisme primitive, fără generare electrică pe scară;

17. Sursele regenerabile moderne (solar, eolian) erau necunoscute tehnologic;

18. Energia nucleară era abia la stadiul de teorie științifică, fără aplicație practică.

4. Implicații sociale, economice și tehnologice

Structura energetică din 1890 reflectă nu doar nivelul tehnologic al epocii, ci și:

19. nivelul de dezvoltare economică globală (bazat pe agricultură și industrie grea);

20. inegalitatea în accesul la energie (majoritatea populației fiind dependentă de resurse locale);

21. lipsa interconectivității rețelelor și a formelor centralizate de producție energetică.

Această structură explica în mare parte și ritmul lent al dezvoltării în zonele rurale sau coloniile din sudul global, unde biomasa a rămas dominantă chiar și după mijlocul secolului XX.

5. Concluzii:

Analiza datelor pentru anul 1890 confirmă existența unui sistem energetic global:

22. bazat pe două surse primare (biomasă și cărbune), fără diversificare;

23. cu eficiență scăzută și impact ecologic crescut;

24. aflat abia la începuturile transformărilor tehnologice care urmau să schimbe radical modul în care umanitatea produce și consumă energie.

În acest sens, anul 1890 poate fi considerat un "punct zero" de referință pentru analiza tranziției energetice. Orice comparație cu perioada contemporană (2020-2023) trebuie să pornească de la această structură simplificată, dar profund influentă istoric.

- Contribuția surselor regenerabile și a energiei nucleare în anul 2022

Figura 6 oferă o vizualizare concentrică a principalelor surse alternative de energie din anul 2022, incluzând:

25. Hidroenergie;

26. Alte surse regenerabile (biomasă avansată, geotermală etc.);

27. Bioenergie lichidă (biocombustibili);

28. Energie solară;

29. Energie eoliană;

30. Energie nucleară.

Deși utilizată pe scară largă încă din prima jumătate a secolului XX, hidroenergia rămâne în 2022 una dintre cele mai stabile și predictibile forme de energie regenerabilă. Graficul confirmă poziția sa dominantă în rândul surselor curate, datorită:

31. infrastructurii deja existente;

32. capacității mari de stocare și reglare a fluxului;

33. costurilor relativ scăzute de operare.

Energia nucleară ocupă un loc intermediar în grafic, cu o contribuție semnificativă, dar sub hidroenergie. Deși cu emisii reduse de carbon, aceasta rămâne o sursă contestată în contextul:

34. riscurilor de securitate (ex: accidente precum Cernobîl, Fukushima);

35. dificultăților în gestionarea deșeurilor radioactive;

36. costurilor ridicate ale construcției centralelor.

Energia solară și eoliană, deși prezente marginal în urmă cu doar două decenii, au cunoscut în 2022 o expansiune rapidă, devenind forțele motrice ale tranziției energetice globale. Această tendință este susținută de:

37. scăderea accelerată a costurilor tehnologice (ex: panouri fotovoltaice);

38. politici publice favorabile (subvenții, reglementări de decarbonizare);

39. acceptarea crescândă a prosumatorilor în rețelele energetice.

40. "Alte regenerabile" și "Biofuels" au un rol vizibil, dar limitat. Acestea includ:

41. biomasă avansată (digestie anaerobă, peleți);

42. surse geotermale;

43. biocombustibili utilizați în transport sau cogenerare.

Comparativ cu structura din 1890 (unde doar biomasa era prezentă în mod real), datele pentru 2022 reflectă o transformare radicală a peisajului energetic global. Aceste surse alternative:



#### 44. devin din ce în ce mai competitive în raport cu combustibilii fosili;

45. contribuie la reducerea dependenței de surse poluante și finite;

46. deschid drumul către o producție distribuită, curată și scalabilă.

Graficul confirmă astfel maturizarea surselor regenerabile și rolul strategic al energiei nucleare în menținerea unui echilibru între siguranță energetică și sustenabilitate.

- Evoluția surselor regenerabile și a energiei nucleare în perioada 1999-2009

Intervalul 1999-2009 a reprezentat o etapă de tranziție lentă, dar importantă în evoluția mixului energetic global, în special în ceea ce privește integrarea surselor regenerabile și consolidarea rolului energiei nucleare.

În Figura 7, vizualizarea sub formă de heatmap a valorilor anuale exprimate în TWh oferă o perspectivă concentrată și intuitivă asupra contribuției fiecărei surse la producția totală de energie în acest interval.

Energia nucleară se evidențiază printr-o contribuție consistentă și ridicată pe toată durata analizată, menținându-se în jurul pragului de 2.500-2.700 TWh anual. Această stabilitate reflectă maturitatea tehnologică și poziția consolidată a sectorului nuclear în multe dintre economiile dezvoltate, care au văzut în această sursă o alternativă predictibilă și relativ curată la combustibilii fosili. Deși după anul 2010 imaginea energiei nucleare avea să fie afectată de evenimente precum dezastrul de la Fukushima, în perioada analizată ea a rămas una dintre principalele surse non-fosile de energie.

Hidroenergia, la rândul său, a continuat să joace un rol dominant în rândul surselor regenerabile. Cu valori anuale apropiate de 3.000 TWh, aceasta a fost utilizată nu doar pentru producția de bază, ci și pentru reglajul dinamic al rețelelor, datorită caracterului său flexibil și predictibil. Prezența sa stabilă reflectă atât existența unei infrastructuri solide deja construite, cât și costurile relativ reduse de operare.

În schimb, sursele regenerabile moderne, cum ar fi energia eoliană și energia solară, deși marginale în termeni absoluți în această perioadă, au început să dea semne clare de creștere. Energia eoliană, în special, a înregistrat o evoluție constant ascendentă, dublându-și producția în decurs de doar un deceniu. Energia solară, deși pornind de la valori extrem de reduse, a început să câștige vizibilitate spre finalul intervalului, datorită progresului tehnologic și al politicilor de sprijin la nivel european și global.

În ceea ce privește sursele încadrate în categoriile "alte regenerabile" și "biocombustibili", acestea au menținut un rol secundar, dar nu lipsit de importanță. Ele reflectă o diversificare a surselor la scară mai mică, cu potențial de aplicabilitate în contexte locale și industriale (ex: biogaz, biomasă lichidă, surse geotermale).

În ansamblu, perioada 1999-2009 a fost caracterizată printr-o consolidare a energiilor convenționale nepoluante (nucleară și hidro), dar și prin apariția semnelor timpurii ale unei schimbări de paradigmă: tranziția către surse regenerabile moderne. Graficul prezentat permite identificarea nu doar a valorilor anuale, ci și a tendințelor: stagnarea unor surse, creșterea lentă dar sigură a altora, precum și conturarea unui nou peisaj energetic [12]. Această perioadă a pregătit terenul pentru expansiunea accelerată a regenerabilelor în deceniul următor și a jucat un rol esențial în formarea infrastructurii și a piețelor de tehnologii verzi la scară globală.

- Volatilitatea consumului de energie primară la nivel global

În evaluarea comportamentului energetic la scară globală, pe lângă dimensiunea cantitativă a consumului total, devine esențială înțelegerea stabilității sau instabilității acestuia în timp. Un indicator central în acest sens este volatilitatea anuală a consumului de energie, care exprimă cât de mult variază cererea de energie primară de la un an la altul într-o anumită țară. Măsurarea acestei variabilități permite o înțelegere mai profundă a riscurilor, a dependențelor structurale și a nevoilor de adaptare în contextul tranziției energetice globale.

S-a realizat o analiză a volatilității consumului de energie primară prin intermediul abaterii standard (standard deviation) anuale a variației consumului, oferind astfel o imagine comparativă între țări din punct de vedere al stabilității istorice a cererii energetice.

Analiza a fost realizată pe baza setului de date global "Primary energy consumption", care conține valorile anuale ale consumului de energie primară (exprimat în terawați-oră - TWh) pentru majoritatea țărilor lumii. Pentru fiecare țară, s-au aplicat următorii pași de prelucrare:

47. Datele au fost sortate cronologic pentru fiecare țară, pentru a permite o analiză temporală coerentă.

48. A fost calculată variația anuală a consumului (denumită "Year-over-Year Change"), exprimată astfel:

$$\Delta E_i = E_i - E_{i-1}$$

unde:

-  $E_i$  reprezintă consumul de energie primară în anul  $i$ ;

-  $\Delta E_i$  este diferența față de anul precedent.

49. Pentru fiecare țară, s-a calculat abaterea standard a acestor variații anuale, utilizând formula:

$$\sigma = \sqrt{(\sum (\Delta E_i - \mu)^2 / n)}$$

unde:

-  $\mu$  este media variațiilor anuale pentru acea țară;

-  $n$  este numărul de ani luați în considerare;

-  $\sigma$  reprezintă abaterea standard (standard deviation) a variațiilor anuale.

Abaterea standard ( $\sigma$ ) este o măsură statistică a dispersiei sau răspândirii valorilor într-un set de date față de media acestora. În contextul energetic, o abatere standard mică semnalează un consum relativ constant în timp - stabil, predictibil, cu variații anuale minime. În schimb, o abatere standard ridicată reflectă o variabilitate pronunțată, semnalând posibile instabilități în infrastructură, politici publice, dependențe de surse fluctuante sau influențe externe (economice, geopolitice, climatice).

Această metrică a fost aleasă pentru avantajele sale analitice:

50. exprimă fluctuațiile în unitățile originale ale datelor (TWh);

51. permite compararea directă între țări de dimensiuni diferite;

52. tratează simetric atât creșterile, cât și scăderile;

53. este robustă și larg utilizată în analiză de risc și modelare energetică.

Pentru acuratețe, analiza a exclus entități agregate (precum "World", "OECD", "OPEC") și a fost aplicată doar asupra statelor individuale cu suficiente date disponibile.

Rezultatele au fost reprezentate grafic sub forma unei hărți tematice (choropleth) - Figura 8, în care fiecare țară este colorată în funcție de valoarea sa de volatilitate energetică (abatere standard anuală). Paleta de culori aleasă reflectă progresiv riscul structural asociat variației consumului:

54. mov închis → volatilitate scăzută, consum stabil;

55. galben-verzui → volatilitate ridicată, consum fluctuant.

Harta relevă diferențe semnificative între țări:

56. Țările dezvoltate (ex: Germania, Franța, Canada) prezintă valori reduse ale volatilității, reflectând stabilitatea infrastructurii energetice și a politicilor publice.
57. Economii emergente (ex: India, Brazilia, Mexic) prezintă o volatilitate medie spre ridicată, corespunzătoare tranziției rapide și creșterii accelerate a cererii.
58. Țări mari și complexe din punct de vedere geopolitic sau economic (ex: SUA, China, Rusia) înregistrează valori ridicate, ca urmare a magnitudinii pieței și a expunerii la șocuri interne sau externe.
- Prin această analiză, se demonstrează că stabilitatea consumului energetic este o variabilă importantă pentru definirea unor strategii sustenabile. Țările cu volatilitate ridicată pot necesita investiții suplimentare în stocare, echilibrare, digitalizare sau diversificare energetică. Pe de altă parte, o volatilitate redusă nu înseamnă neapărat performanță ecologică, dar oferă premise mai bune pentru tranziții ordonate către surse curate.
- Clasificarea țărilor în funcție de dinamica istorică a consumului de energie
- Pentru a obține o perspectivă sintetică asupra diversității evoluțiilor energetice, s-a aplicat o tehnică de învățare nesupervizată - analiza clusterelor - pentru a grupa țările în funcție de forma curbelor lor de consum energetic de-a lungul timpului.
- Obiectivul acestui demers a fost de a identifica tipare comune în dinamica consumului de energie, dincolo de volumul absolut sau de contextul geopolitic. Metodologia aplicată este alcătuită din următoarele etape:
59. Datele istorice de consum (TWh/an) au fost reorganizate sub forma unei matrici, în care rândurile reprezintă țări, iar coloanele - anii.
60. Pentru fiecare țară, valorile au fost normalizate între 0 și 1, folosind o scalare min-max pe rând (i.e., pe fiecare țară). Această normalizare permite compararea formelor curbelor, indiferent de mărimea absolută a consumului.
61. A fost aplicat algoritmul K-Means cu 4 cluster (k = 4), identificând grupuri de țări cu traiectorii similare în timp.
62. Din fiecare cluster au fost selectate 3 țări reprezentative, iar curbele lor normalizate au fost reprezentate grafic

În Figura 9 se observa cum aplicația algoritmului K-Means asupra curbelor de consum energetic normalizat a dus la identificarea a patru grupuri (cluster) de țări, fiecare caracterizat de o dinamică istorică distinctă. Interpretarea acestor grupuri oferă o perspectivă asupra modelelor macroeconomice, structurii energetice și etapelor de dezvoltare prin care au trecut diverse state.

#### Cluster 0 - Creștere constantă și sustenabilă

Acest cluster este format din țări care au înregistrat o creștere lentă, dar stabilă a consumului de energie în ultimele decenii. Curbelor acestora le lipsește un salt brusc, dar evidențiază o tendință clară de progres gradual.

Caracteristici:

- 63. economie matură sau în curs de stabilizare;
  - 64. investiții constante în infrastructură și eficiență energetică;
  - 65. consum echilibrat între industrii și gospodării.
- Țările din acest cluster tind să aibă politici energetice predictibile, o bună adaptare la cerințele climatice și o tranziție echilibrată spre energie verde.

#### Cluster 1 - Explozie recentă a consumului

Acest grup este dominat de țări care au avut un consum redus până în anii 1990 sau 2000, urmat de o creștere accelerată în perioada recentă. Curbelor le este caracteristică o pantă abruptă spre finalul intervalului.

Caracteristici:

- 66. economii emergente, industrializare accelerată;
  - 67. urbanizare rapidă și creșterea clasei mijlocii;
  - 68. investiții masive în infrastructura energetică.
- Statele din acest cluster se confruntă cu provocări de sustenabilitate și echilibrare energetică, dar au un potențial semnificativ pentru adoptarea tehnologiilor regenerabile.

#### Cluster 2 - Evoluții neregulate sau instabile

Țările din acest cluster au curbe fluctuante, adesea marcate de episoade de declin, stagnare și reveniri. Această variabilitate poate reflecta tranziții politice, crize economice sau instabilitate structurală.

Caracteristici:

- 69. volatilitate economică sau geopolitică;
  - 70. modificări bruște în mixul energetic sau în politicile de subvenție;
  - 71. expunere la conflicte sau catastrofe naturale.
- Politicile de adaptare energetică în aceste state trebuie să fie flexibile, iar strategiile de reziliență prioritare.

#### Cluster 3 - Maturitate energetică și platou

Curbelor din acest cluster le este caracteristică o creștere rapidă în prima parte a secolului XX, urmată de stagnare sau chiar ușoare scăderi în ultimele decenii. Aceasta indică atingerea unui nivel de saturație energetică sau o tranziție spre eficiență.

Caracteristici:

- 1. consum per capita ridicat, dar în stagnare;
- 2. inovații în eficiență energetică;
- 3. politici climatice ambițioase.

Țările din acest cluster au trecut de vârful creșterii consumului și se concentrează tot mai mult pe reducerea emisiilor și pe echilibrarea cererii cu producția regenerabilă.

Această clasificare oferă un instrument analitic util pentru decidenți și cercetători, facilitând compararea strategiilor energetice între grupuri similare și identificarea de modele reproductibile în dezvoltarea sustenabilă.

- Tipologii globale de creștere energetică: analiza centroidelor și clasificarea țărilor

Pe lângă analiza individuală a traiectoriilor de consum pentru fiecare țară, o abordare eficientă pentru înțelegerea fenomenelor energetice globale presupune extragerea unor tipare colective - adică a unor curbe medii care sintetizează comportamente similare. În acest sens, s-a recurs la o nouă etapă a analizei de tip K-Means clustering, cu scopul de a identifica și vizualiza centrozii fiecărui cluster - curbe reprezentative pentru comportamentul mediu energetic al grupului.

După atribuirea fiecărei țări la unul dintre cele patru cluster rezultate anterior, s-au extras centrozii din modelul K-Means. Aceștia sunt vectori medii (de-a lungul axei temporale) care reflectă tipologia generală de consum pentru țările din acel grup. Datele au fost normalizate între 0 și 1 prin scalare min-max pe fiecare țară, pentru a permite compararea formelor curbelor, și nu valorile absolute.

Curbele centroidale au fost reprezentate grafic în Figura 10, oferind o imagine sintetică asupra celor patru modele globale de evoluție a consumului de energie

Interpretarea tipologiilor este descrisă mai jos:

4. Cluster 0 - Traiectorie accelerată tânără: Curba prezintă o creștere abruptă în ultimele decenii, specifică țărilor în plină dezvoltare economică și industrializare. Este tipică pentru națiuni care pornesc de la un consum energetic redus, dar înregistrează o expansiune rapidă. Exemple: Philippines, Kuwait, Ethiopia.
5. Cluster 1 - Creștere matură și stabilizată: Evoluție constantă, cu ritm moderat și predictibil. Aceste state au depășit faza de industrializare accelerată și se stabilizează într-un model de consum echilibrat. Exemple: Russia, Azerbaijan, Nauru.
6. Cluster 2 - Cicluri de instabilitate: Curba acestui cluster prezintă oscilații, stagnări și reluări ale creșterii. Reflectă țări cu traiectorii neregulate, influențate de factori politici, economici sau geografici. Exemple: Canada, Belgium, North America.
7. Cluster 3 - Platou sau declin: Această tipologie indică țări care au atins o fază de saturație energetică. După o creștere pronunțată în prima parte a secolului XX, curbele se stabilizează sau chiar scad, pe fondul eficientizării, digitalizării sau tranziției către surse regenerabile. Exemple: Syria, North Macedonia, Europe (EIA).

Analiza centroidelor oferă un cadru conceptual solid pentru înțelegerea evoluțiilor globale de consum energetic. În loc de a analiza sute de curbe individuale, cercetarea poate fi sintetizată în patru tipare distincte, fiecare asociat cu o strategie, o etapă de dezvoltare și un set specific de provocări energetice.

Această abordare este extrem de valoroasă în:

8. fundamentarea deciziilor de politică energetică la nivel național și regional;
9. identificarea de bune practici în cadrul fiecărui cluster;
10. dezvoltarea de scenarii de tranziție energetică adaptate la dinamica istorică a fiecărei țări.

#### 4.11 Concluzii

Analiza vizuală a datelor energetice oferă o perspectivă esențială asupra tranziției globale din domeniul energiei, prin evidențierea evoluțiilor istorice, a dezechilibrelor structurale și a tendințelor emergente. Reprezentările grafice utilizate în acest capitol au demonstrat puterea interpretativă a vizualizării datelor, facilitând înțelegerea complexității mixului energetic și a dinamicii consumului pe termen lung.

Prin compararea surselor tradiționale, emergente și moderne, s-a evidențiat nu doar rolul fiecărei surse în diverse etape ale dezvoltării economice, ci și gradul de maturizare sau stagnare în anumite regiuni. De asemenea, clasificarea comportamentelor energetice ale țărilor, pe baza analizei de tip cluster și a curbelor centroidale, a permis conturarea unor tipologii globale cu semnificații strategice importante [9].

Toate aceste elemente contribuie la o înțelegere mai profundă a direcției spre care se îndreaptă sistemul energetic global și subliniază importanța utilizării datelor vizuale în fundamentarea politicilor și deciziilor din domeniul energetic. Vizualizarea nu este doar un instrument descriptiv, ci un mijloc analitic eficient de comunicare și anticipare în contextul transformării digitale și sustenabile a sectorului energetic.

### 5 Pregătirea și standardizarea datelor energetice pentru o viitoare analiză avansată

- Introducere

O componentă fundamentală a oricărei cercetări bazate pe date este procesul de prelucrare și standardizare a informațiilor. Pentru acest studiu, obiectivul a fost analiza consumului global de energie dintr-o perspectivă multivariabilă, cu scopul de a identifica tipare, similitudini și posibile clustere de țări în funcție de profilul energetic. Acest demers a presupus integrarea și transformarea a două seturi de date eterogene, provenite din surse diferite: "Global Energy Substitution" și "Primary Energy Consumption", ambele provenind de la Our World in Data ([ourworldindata.org](https://ourworldindata.org)).

- Descrierea seturilor de date

Primul set de date, "Global Energy Substitution", oferă informații detaliate despre consumul de energie pe surse specifice: începând cu biomasă tradițională, continuând cu surse fosile (petrol, gaz, cărbune), și ajungând la surse regenerabile moderne (solar, eolian, biocombustibili) și energie nucleară. Aceste date sunt exprimate în TWh și acoperă o perioadă istorică extinsă, la nivel global.

Al doilea set, "Primary Energy Consumption", sintetizează consumul total de energie primară per țară și an, fără a distinge între surse. Deși mai simplu ca structură, acest set este valoros pentru că oferă o imagine de ansamblu a consumului energetic.

#### 5.3 Unificarea și restructurarea datelor

Pentru a face aceste seturi comparabile și utilizabile pe viitor în analize algoritmice, a fost necesară o armonizare completă a structurii. Primul pas a constat în transformarea setului "Global Energy Substitution" din format lat (wide) în format long (tidy data), prin funcția melt, rezultând un cadru de date în care fiecare rând reprezintă o combinație univocă între entitate (de regulă țară), an, sursă de energie și cantitatea consumată.

Setul agregat a fost încadrat în același format, atribuindu-i-se eticheta de sursă "Total" pentru a reflecta caracterul său sintetic. Ulterior, cele două seturi au fost concatenate într-un singur DataFrame, care conține toate sursele energetice (individuale și agregate) pe o structură comună.

- Pivotare, completare și normalizare numerică

Datele au fost apoi pivotate pentru a genera o matrice cu rânduri corespunzătoare combinațiilor țară-an și coloane corespunzătoare fiecărei surse de energie. Valorile lipsă, interpretate ca inexistența sau neutilizarea sursei respective în contextul analizat, au fost înlocuite cu zero. Această decizie a fost motivată de dorința de a păstra toate observațiile, inclusiv cele cu consum nul pe anumite surse.

Pentru a permite comparabilitatea numerică în cadrul algoritmilor care se bazează pe distanțe euclidiene sau variante (PCA, K-means), s-a aplicat o standardizare folosind transformarea StandardScaler. Astfel, fiecare coloană numerică a fost centrată la media zero și redusă la o deviație standard de unitate.

- Concluzii

Setul de date rezultat - standardized\_energy\_data.csv - este coerent, complet și optimizat pentru algoritmi de învățare automată. Transformările aplicate au permis unificarea datelor eterogene într-un format analitic robust, oferind suport solid pentru extragerea de cunoștințe relevante privind tranziția energetică globală.

Pregătirea riguroasă a datelor reprezintă un pas esențial în orice analiză energetică avansată. În această etapă, accentul a fost pus pe integrarea coerentă a două surse de informații diferite, dar complementare, care descriu consumul de energie la nivel global. Transformările aplicate - de la restructurarea în format long și completarea valorilor lipsă, până la pivotare și standardizare numerică - au avut rolul de a crea un cadru de date omogen, robust și pregătit pentru procesare algoritmică.

Abordarea adoptată a permis păstrarea fidelă a contextului energetic, incluzând atât consumul total, cât și defalcarea pe surse specifice. Înlocuirea valorilor lipsă cu zero și aplicarea standardizării au contribuit la crearea unui set de date comparabil și echilibrat, esențial pentru utilizarea în tehnici

statistice precum PCA sau K-means.

Rezultatul constă într-o resursă analitică bine structurată, cu potențial de a susține explorări relevante privind tiparele globale de consum energetic. Această etapă nu doar pregătește datele pentru analiză, ci definește calitatea și profunzimea interpretărilor care pot fi extrase ulterior.

6 Perspectivă viitoare și tendințe emergente în sectorul energetic digitalizat

6.1 Evoluția sistemelor energetice spre rețele descentralizate

Viitorul sistemelor energetice este tot mai legat de descentralizare și autonomie locală. Rețelele energetice tradiționale, centralizate și unidirecționale, sunt înlocuite treptat de arhitecturi distribuite precum microgrid-urile sau rețelele peer-to-peer. Aceste structuri permit producerea, stocarea și consumul de energie la nivel local, cu interacțiuni directe între consumatori și producători.

Comunitățile energetice, formate din prosumatori interconectați, devin noduri active ale rețelei, contribuind la flexibilizarea sistemului și reducerea pierderilor. Digitalizarea acestor rețele presupune integrarea unor platforme inteligente de control, bazate pe algoritmi de optimizare și blockchain pentru transparență și securitate [13].

6.2 Rolul inteligenței artificiale în optimizarea rețelelor energetice

Inteligența artificială (IA) va juca un rol cheie în evoluția sistemelor energetice moderne. Aplicațiile sale sunt vaste:

11. Algoritmi de prognoză a consumului și producției, esențiali pentru integrarea surselor regenerabile intermitente;

12. Optimizarea fluxurilor de energie în timp real, prin învățare automată;

13. Identificarea anomaliilor și prevenirea defectelor prin întreținere predictivă;

14. Managementul automat al cererii, cu alocarea eficientă a resurselor în funcție de preț și disponibilitate [14].

IA contribuie astfel la creșterea eficienței, reducerea costurilor și sporirea rezilienței sistemelor energetice.

6.3 Tranziția către modele energetice sustenabile și circulare

Un pas important în evoluția sectorului energetic îl reprezintă integrarea principiilor economiei circulare. Aceasta presupune:

15. Reciclarea și reutilizarea echipamentelor energetice (ex: panouri solare, baterii);

16. Recuperarea căldurii reziduale și transformarea acesteia în energie utilă;

17. Proiectarea infrastructurii pentru durabilitate și modularitate [15].

Astfel, se reduce presiunea asupra resurselor naturale și se limitează impactul de mediu, contribuind la obiectivele climatice globale.

6.4 Provocări etice, de securitate și confidențialitate

Digitalizarea sectorului energetic ridică și probleme importante de etică și securitate:

1. Protecția datelor privind consumul individual, care pot revela comportamente personale;

2. Vulnerabilitățile cibernetice ale infrastructurii critice;

3. Inegalități în accesul la tehnologie, între regiuni dezvoltate și cele defavorizate [16].

Aceste aspecte impun elaborarea unor politici publice solide, reglementări adaptate și colaborări internaționale pentru un cadru etic și sigur al tranziției energetice.

6.5 Direcții de cercetare viitoare și recomandări strategice

Pentru a susține tranziția energetică digitală, sunt necesare investiții în cercetare și dezvoltare, în următoarele direcții:

1. Tehnologii emergente: fuziune nucleară, materiale noi pentru stocare, conversie energetică cuantică;

2. Platforme software scalabile pentru gestionarea rețelelor complexe;

3. Sisteme educaționale adaptate, pentru formarea de specialiști multidisciplinari;

4. Politici publice integrate care să sprijine inovația și să încurajeze parteneriatele public-private.

6.6 Concluzii

Tendențele emergente din sectorul energetic evidențiază o tranziție profundă, de la un sistem centralizat, bazat pe combustibili fosili, la unul descentralizat, digitalizat și sustenabil. Adoptarea acestor direcții necesită viziune, coordonare intersectorială și o cultură a inovației, fără de care viitorul energetic durabil nu poate fi atins.

## Bibliografie

[1] International Energy Agency: Global Energy and CO2 Data, accesat în 3 iunie 2025, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-energy-and-co2-data>

[2] Our World in Data: Primary Energy Consumption Dataset, accesat în 3 iunie 2025, <https://ourworldindata.org/energy>

[3] European Commission: A Clean Planet for all - A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brussels, 2018.

[4] Grainger, J.J., Stevenson, W.D.: Power System Analysis, McGraw-Hill, New York, 1994.

[5] Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L.: Distributed Generation: A Definition, Electric Power Systems Research, vol. 57, 2001, pp. 195-204.

[6] European Commission: Digitalising the Energy System - EU Action Plan, Brussels, 2022.

[7] Gungor, V.C., Lu, B., Hancke, G.P.: Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 10, 2010, pp. 3557-3564.

[8] Manyika, J., Chui, M., Brown, B., et al.: Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity, McKinsey Global Institute, 2011.

[9] Smil, V.: Energy and Civilization: A History, MIT Press, Cambridge, 2017.

[10] BP Statistical Review of World Energy, 2023, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

[11] IEA: World Energy Outlook 2022, International Energy Agency, Paris, 2022.

[12] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., et al.: Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, vol. 12, 2011, pp. 2825-2830.

[13] International Energy Agency, Empowering Electricity Consumers in the Digital Age, OECD/IEA, Paris, 2023.

[14] Kroposki, B., et al., Autonomous Energy Grids, în IEEE Power and Energy Magazine, nr. 6, 2017, pp. 34-45.

[15] Ellen MacArthur Foundation, Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change, Ellen MacArthur Foundation Publishing, Cowes, 2019.

[16] European Data Protection Supervisor, Opinion on Smart Energy and Data Protection, Bruxelles, 2022.

## Anexe

TOC \h \z \c "Fig" Fig 1 - Cărbune vs Biomă; Sursa: VS Code / Python 14

Fig 2 - Surse de energie emergente; Sursa: VS Code / Python	17
Fig 3 - Ponderile relative ale surselor de energie; Sursa: VS Code / Python	19
Fig 4 - Consumul global de energie, pe surse; Sursa: VS Code / Python	20
Fig 5 - Repartiția surselor de energie în anul 1890 (% din consumul global) ; Sursa: VS Code / Python	21
Fig 6 - Distribuția producției de energie regenerabilă și nucleară în 2022; Sursa: VS Code / Python	24
Fig 7 - Evoluția surselor regenerabile și a energiei nucleare (1999-2009) ; Sursa: VS Code / Python	26
Fig 8 - Analiza volatilității consumului de energie primară la nivel global; Sursa: VS Code / Python	28
Fig 9 - Curbe de consum energetic normalizat, grupate pe clustere; Sursa: VS Code / Python	31
Fig 10 - Curbe centroidale ale consumului de energie (normalizat) ; Sursa: VS Code / Python	34