

Materiile prime critice – pivotul tranziției energetice. O călătorie durabilă, nu doar o simplă destinație pe foaia de parcurs net-zero 2050...*

**Acad. Nicolae Anastasiu
Doru Cătălin Morariu****

Realitățile tranziției energetice – Materiile prime critice aduc noi provocări pentru securitatea energetică.

Materiile prime critice (MPC)¹ reprezintă o componentă esențială a **tranziției energetice** către obiectivul net-zero 2050. Odată cu declanșarea tranziției energetice, omenirea s-a angajat într-o călătorie de decarbonare către o economie cu emisii net-zero, cu o foaie de parcurs extrem de ambițioasă, care necesită cu prioritate schimbări tehnologice fundamentale în toate sectoarele industriale, într-un ritm și cu o amploare fără precedent. Țintele climatice din ce în ce mai îndrăznețe au modificat deja dinamica lanțurilor globale de aprovizionare cu MPC, nu numai prin creșterea substanțială a cererii de materii prime ci și prin imperativul de a echilibra continuu ecuația cerere-ofertă pentru a menține ritmul tot mai accelerat al tranziției. Dezvoltarea globală a diferitelor tehnologii pentru energie curată necesită nu doar un portofoliu de MPC mult mai diversificat, dar și cantități substanțial mai mari de MPC

pe unitatea de capacitate instalată comparativ cu tehnologiile convenționale.

Implementarea în următoarele câteva decenii a unui număr impresionant de mare de investiții în active bazate pe o gamă largă de tehnologii pentru energie curată, componente, echipamente și soluții tehnologice cu emisii reduse (de la mașini electrice la turbine eoliene și de la electrolizoare la panouri fotovoltaice, ce însumate la nivel global vor atinge ordinul sutelor de milioane de unități), care reprezintă un factor vital pentru decarbonare în multe domenii, necesită o extindere la scară largă a industriei extractive și de prelucrare a minereurilor cu lanțuri de aprovizionare sigure, menite să garanteze accesul neîntrerupt la materiile prime care intră în componența acestor tehnologii (Fig. 1). Trecerea la un sistem de energie curată va genera o creștere uriașă a cerințelor de aprovizionare cu materii prime critice, ceea ce înseamnă că sectorul energetic devine o forță majoră pentru dinamica și configurația cererii pe piețele de minereuri și concentrate minerale.

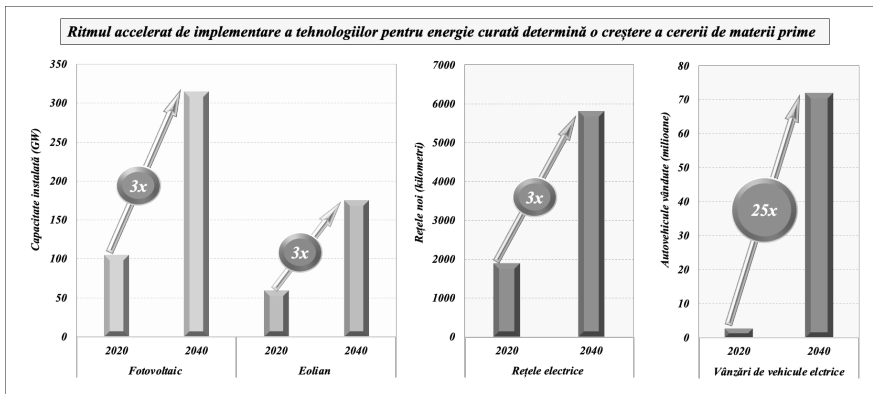


Fig. 1 – Ritmul accelerat de implementare a tehnologiilor pentru energie curată determină creșterea semnificativă a cererii de materii prime (sursa datelor primare: IEA, 2024; IRENA, 2023; S&P Global, 2023; Rystad Energy, 2024)

* Alocuțiune susținută la Dezbateră „Tranziția energetică – perspective globale, abordări regionale și implicații pentru România” (10 aprilie 2025, Clubul academicienilor)

** Dr. ing geolog

<i>Materii prime critice (MPC):</i>									
<i>Tehnologii pentru energie curată (TEC):</i>	Cupru	Cobalt	Nichel	Litiu	Pământuri rare	Crom	Zinc	Grupa platinei	Aluminiu
<i>Fotovoltaic</i>	***	*	*	*	*	*	*	*	***
<i>Eolian (+ magneți permanenți)</i>	***	*	**	*	***	**	***	*	**
<i>Hidro</i>	**	*	*	*	*	**	**	*	**
<i>Sisteme de concentrare a energiei solare</i>	**	*	**	*	*	***	**	*	***
<i>Bioenergie</i>	***	*	*	*	*	*	**	*	**
<i>Geotermal</i>	*	*	***	*	*	***	*	*	*
<i>Nuclear</i>	**	*	**	*	*	**	*	*	*
<i>Rețele electrice</i>	***	*	*	*	*	*	*	*	***
<i>Vehicule electrice (+ magneți permanenți)</i>	***	***	***	***	***	*	*	*	***
<i>Baterii și sisteme de stocare a energiei</i>	***	***	***	***	***	*	*	*	***
<i>Hidrogen</i>	*	*	***	*	**	*	*	***	**
<i>Importanța relativă a principalelor MPC pentru principalele tipuri de TEC: Ridicată (***) / Moderată (**) / Scăzută (*)</i>									

Tabel 1 – Importanța materiilor prime critice la dezvoltarea principalelor tipuri de tehnologii pentru energie curată (sursa datelor primare: IEA, 2024; IRENA, 2023; Rystad Energy, 2024)

Ce sunt materiile prime critice? Care sunt criteriile pe baza cărora se poate atribui calificativul de „strategic” sau „critic” unei materii prime minerale neenergetice, metal sau nemetal? Care sunt principalii furnizori și beneficiari ai MPC? Care este dinamica cererii și ofertei de MPC? Cum funcționează în prezent lanțurile de aprovizionare cu MPC? Cât de robuste sunt și mai ales cât de vulnerabile pot deveni lanțurile de aprovizionare cu MPC în contextul cerințelor impuse de tranziția energetică? Dispune încă planeta noastră de suficiente materii prime pentru a asigura evoluțiile preconizate de economia secolului XXI? Poate reprezenta oceanul planetar o sursă alternativă de aprovizionare cu principalele MPC? Care sunt principalele „conflicte operaționale” ce pot apărea din necesitatea de intensificare a extracției miniere, a prelucrării minereurilor extrase și depozitării deșeurilor miniere pe fondul cerințelor tot mai stringente de respectare a standardelor de protecție a mediului ambiant? Cum se poziționează Uniunea Europeană („UE”), și implicit România în calitate de țară membră a UE, pentru a face față cererii crescânde de MPC? Ce poate oferi România? Care sunt principalele surse de aprovizionare cu MPC și care este riscul concentrării geografice a acestora? Cum influențează factorii geopolitici ritmul impus tranziției energetice? Iată doar câteva

din întrebările la care sperăm să răspundem în paginile următoare, printr-o scurtă retrospectivă asupra universului fascinant al tranziției energetice în interacțiunea sa cu materiile prime critice, atât de necesare pentru atingerea obiectivelor climatice net-zero, dar și aducătoare de noi riscuri, vulnerabilități și mai ales schimbări ale polilor de control în peisajul geopoliticii energetice.

Consecința firească a acestor realități este că tranziția energetică către o economie cu emisii net-zero a declanșat și o „tranziție a materiilor prime critice”. Măsura în care lanțurile globale de aprovizionare cu MPC pot în prezent și vor ține pasul în următoarele decenii cu cererea tot mai mare și tot mai urgentă a polilor de consum pentru MPC va fi un factor determinant, cu rol critic în menținerea unui ritm adecvat al inițiativelor globale de decarbonare.

Materiile prime minerale stau la baza tranziției energetice și joacă un rol determinant pentru susținerea eforturilor de reducere a emisiilor GES prin implementarea tehnologiilor pentru energie curată (Tab. 1). Dar, în același timp, MPC imprimă tranziției energetice un set distinct de provocări și noi vulnerabilități legate de securitatea aprovizionării și volatilitatea prețurilor, care fac necesară o abordare sistemică a tuturor aspectelor legate de

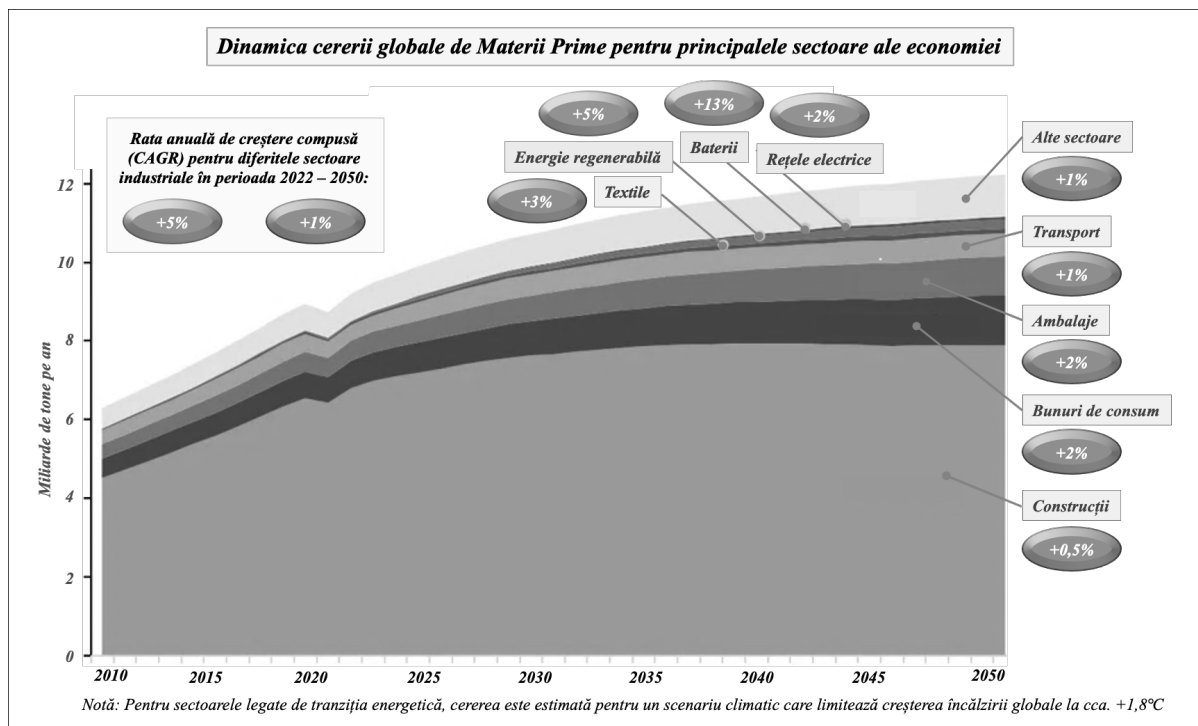


Fig. 2 – Dinamica cererii globale de materii prime pentru principalele sectoare ale economiei (sursa datelor primare: IEA, 2024; Rystad Energy, 2024)

menținerea securității energetice într-o lume energetică cu evoluție rapidă.

Importanța mereu crescândă a MPC pentru procesul de decarbonare a sistemului energetic impune factorilor de decizie din domeniul energiei să-și extindă orizonturile de analiză și să ia în considerare impactul potențial al noilor vulnerabilități introduse de MPC în sistemul energetic, prin actualizarea, redefinirea și optimizarea permanentă a mecanismelor internaționale de securitate energetică.

Materiile prime – Context global

Cererea totală de materii prime la nivel mondial este de așteptat să crească cu cca. 30% de la cca. 9 miliarde de tone (Gt) în 2022 la peste 12 Gt în 2050. Economia globală în continuă expansiune cuplată cu creșterea populației reprezintă principalii factori ai unei cereri mereu crescânde de tot mai multe materiale. Cele mai mari sectoare consumatoare sunt industriile mature, cum ar fi construcțiile, produsele de larg consum, ambalajele și transporturile, care în 2022 au reprezentat cca. 90% din cantitatea de materii prime cerute pe

piață. Sectorul construcțiilor a fost de departe cel mai mare consumator, având o pondere de aproape 75% din toate materiile prime consumate în 2022 (Fig. 2 și Fig. 3). În timp ce construcțiile vor continua să domine cererea pieței, se estimează (IEA, 2024; Rystad Energy, 2024) că materiile prime necesare pentru tranziția energetică vor înregistra până în 2050 cel mai mare salt în creșterea relativă a cererii.

Materiile prime cele mai solicitate pentru perioada următoare rămân materiale tradiționale, cum ar fi cimentul, lemnul, fierul și oțelul, care sunt elementele centrale ale economiei globale, marea majoritate fiind destinate construcțiilor. Deși reprezintă doar o mică parte din cantitatea totală în greutate a materiilor prime, energia regenerabilă și bateriile, propulsate de tranziția energetică, reprezintă segmentul de piață care va înregistra cea mai mare creștere relativă în cererea către 2050. Se preconizează că sectorul bateriilor va avea o rată de creștere anuală compusă (CAGR) de cca. 13%, în timp ce sectorul energiei regenerabile este de așteptat să crească anual cu 5% până în 2050.

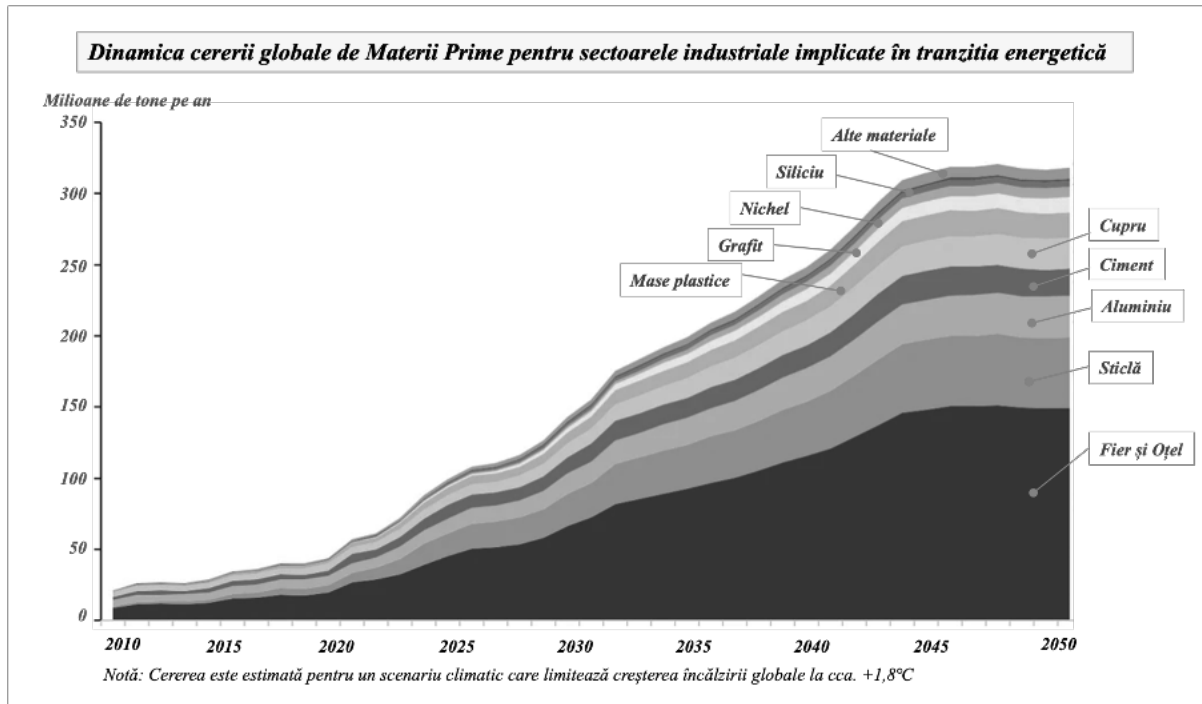


Fig. 3 – Dinamica cererii globale de materii prime pentru sectoarele industriale implicate în tranziția energetică (sursa datelor primare: IEA, 2024; Rystad Energy, 2024)

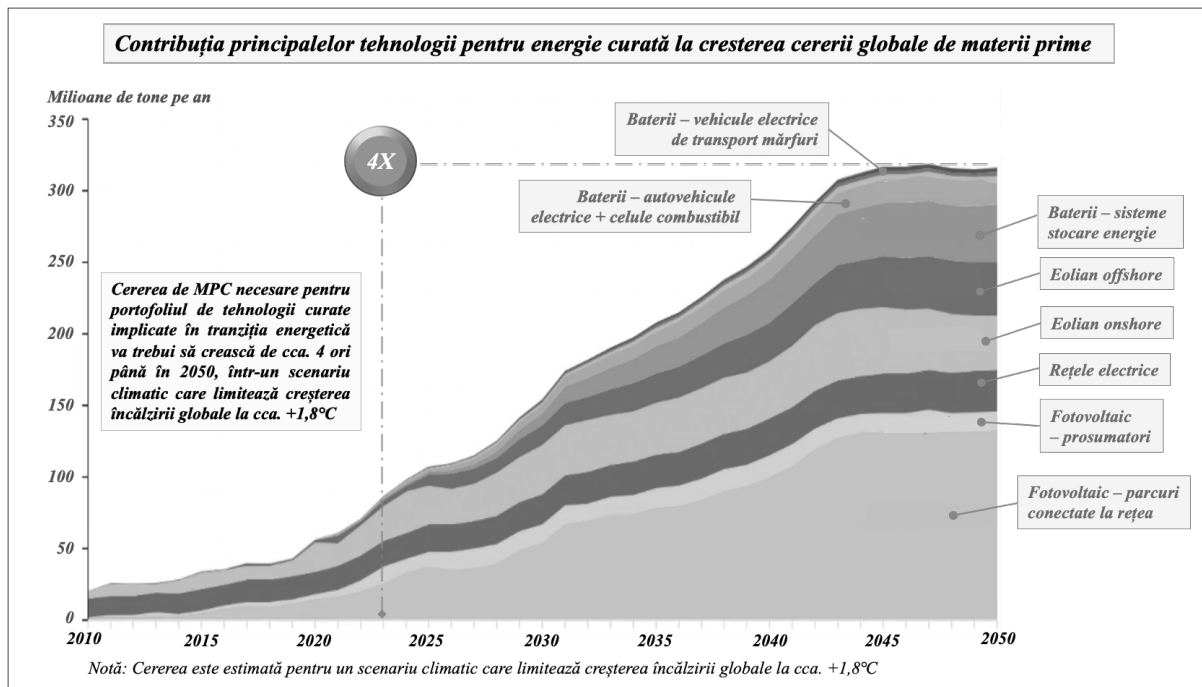


Fig. 4 – Contribuția principalelor tehnologii pentru energie curată la creșterea cererii globale de materii prime (sursa datelor primare: IEA, 2024; IRENA, 2023; Rystad Energy, 2024)

Pe măsură ce ritmul tranziției energetice se intensifică, tehnologiile pentru energie curată devin segmentul de cerere cu cea mai rapidă creștere pentru MPC (Fig. 4). Într-un scenariu care permite atingerea obiectivelor climatice ale Acordului de la Paris (IEA, 2023, 2024; IRENA, 2024; McKin-

sey, 2024), ponderea tehnologiilor pentru energie curată în cererea totală de MPC va crește semnificativ în următoarele două decenii până la peste 40% pentru cupru și pământuri rare, la cca. 60%-70% pentru nichel și cobalt și aproape la 90% pentru litium.

Un sistem energetic alimentat cu tehnologii de energie curată diferă profund de unul alimentat cu resurse tradiționale de tipul combustibililor fosili. În general, pentru fabricarea componentelor și construcția centralelor solare fotovoltaice, a parcurilor eoliene și a vehiculelor electrice, sunt necesare substanțial mai multe și mai diverse materii prime comparativ cu tehnologiile pe bază de combustibili fosili (Fig. 5). Din 2010, cantitatea medie de minerale necesară pentru o nouă unitate de capacitate de generare a energiei electrice a crescut cu 50% pe măsură ce a crescut ponderea surselor regenerabile în mix-ul energetic.

Nevoia crescută de materiale pentru *baterii* este determinată de ritmul ridicat în electrificarea transportului rutier și a sistemelor de stocare a energiei bateriilor. Toate tehnologiile comerciale ale bateriilor depind de tehnologiile pe bază de litiu-ion, iar litiul este de așteptat să înregistreze cea mai mare creștere comparativ cu orice alte materiale. Se preconizează că și catozii bateriilor nichel-mangan-cobalt (NMC) vor continua să înregistreze cote de piață ridicate în următorul deceniu, rezultând o creștere puternică pentru nichel și cobalt, deoarece sectorul bateriilor va avea ne-

voie de cote semnificative din producția globală. Grafitul are o cotă de piață de aproape 100% în anozii bateriei, pe lângă faptul că este utilizat în echipamente industriale, piese turnate și componente similare.

Contextul evaluărilor de criticitate ale Uniunii Europene

În ultimele două decenii, instabilitatea geopolitică în creștere, naționalismul sporit al resurselor și conștientizarea crescândă a legăturilor dintre furnizarea unor resurse minerale din zone afectate de conflict și/sau de încălcarea drepturilor omului, au condus la o îngrijorare reînnoită a factorilor de decizie cu privire la securitatea aprovizionării și disponibilitatea pe termen scurt și mediu a materiilor prime desemnate ca „strategice”. Printre țările puternic dependente de importurile de materii prime, a apărut și o îngrijorare crescută, cu privire la dominația Chinei atât în ceea ce privește furnizarea, cât și consumul unui număr mare de materii prime minerale, inclusiv elemente din grupul pământurilor rare, wolfram, antimoniu, fluorită și multe altele.

Actualul imperativ de decarbonare înseamnă că economia globală și în mod implicit cea a țărilor

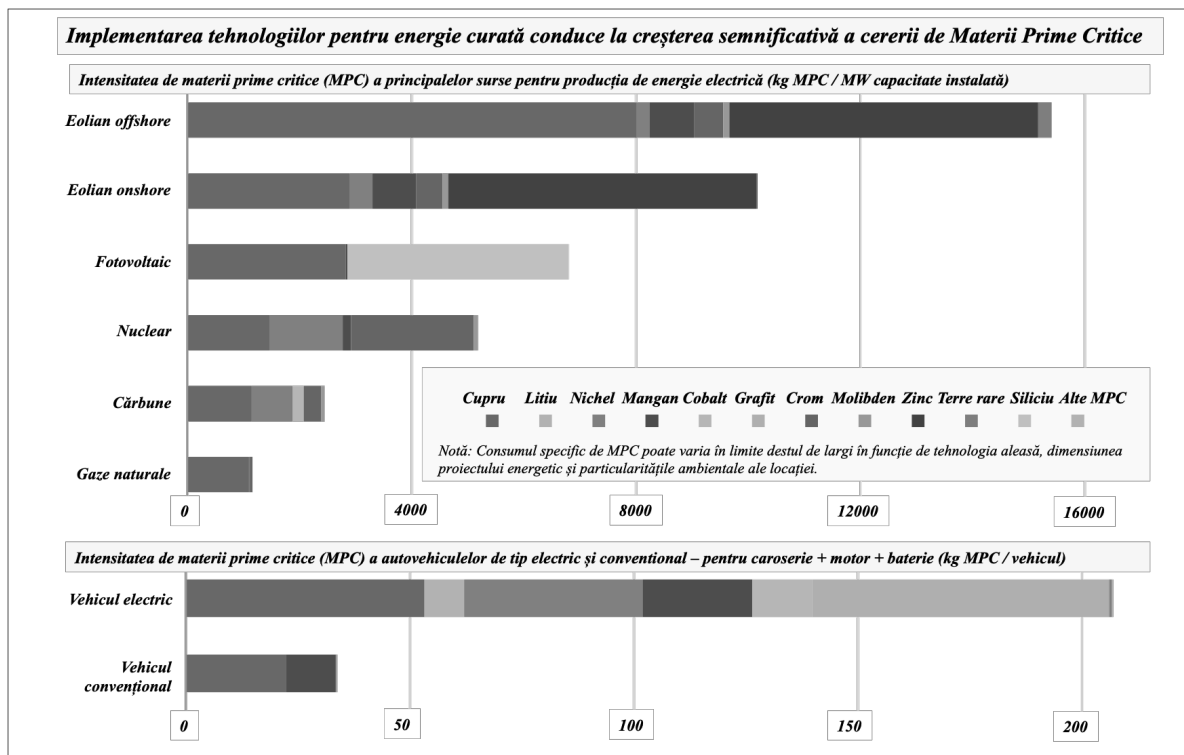









Fig. 5 – Implementarea tehnologiilor pentru energie curată conduce la creșterea semnificativă a cererii globale de materii prime critice (sursa datelor primare: IEA, 2023, 2024; IRENA, 2023; Rystad Energy, 2024)

listei de MPC sunt efectuate pentru a reflecta prioritățile politice ale momentului și datele privind oferta, cererea, concentrarea producției, dar și alți factori care ar putea limita accesul la materii prime, cum ar fi imperativul de respectare a normelor și standardelor de protecție a mediului, socială și guvernanta corporativă.

Consiliul European a adoptat în 2022 Declarația de la Versailles, prin care a cerut să „*facem noi pași decisivi în direcția construirii suveranității noastre europene*” pentru a asigura „*reducerea dependențelor noastre*”. În 2023, Uniunea Europeană a confirmat drept „*critice*” un număr de 34 de materii prime (din care 14 reprezintă materii prime strategice), considerate fie individual sau ca grupări de elemente, cum sunt pământurile rare

ușoare și cele grele, sau metalele din grupa platinei (Fig. 6).

Această evaluare tehnică a stat la baza fundamentării pachetului legislativ european **Critical Raw Materials Act (Actul privind materiile prime critice – AMPC)**, prin care UE urmărește să garanteze aprovizionarea sigură și durabilă cu materii prime critice pentru industria europeană și să reducă în mod semnificativ dependența UE de importurile provenind de la furnizori dintr-o singură țară. Totodată, evaluarea a contribuit la fundamentarea și definirea celei de a cincea variante a listei de MPC (Tab. 2 și Fig. 7), care este utilizată de UE în special pentru a identifica toate proiectele strategice de-a lungul lanțului valoric și pentru a construi rezerve strategice acolo unde oferta este susceptibilă de anumite vulnerabilități.

Comparație între principalele Liste de Materii Prime Critice (2023)								
Materii Prime Critice		SUA	Uniunea Europeană	China	India	Australia	Canada	Marea Britanie
								
Aluminiu / Bauxită	Al	✓	✓	✓	✓		✓	
Arsen	As	✓	✓					
Aur	Au			✓				
Barită / Bariu	Ba	✓	✓					
Beriliu	Be	✓	✓		✓	✓		
Bismut	Bi	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Bor / Borați	B		✓					
Cadmiu	Cd			✓				
Cărbune menajer			✓					
Ceriu – PR	Ce		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cesiu	Cs	✓					✓	
Cobalt	Co	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cositor		✓		✓	✓		✓	✓
Cupru	Cu	✓	✓	✓	✓			
Crom	Cr	✓				✓	✓	
Disprosiu – PR	Dy		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Erbiu – PR	Er		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Europiu – PR	Eu		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Feldspat			✓					
Fier - Minerale	Fe			✓				
Fluorită		✓	✓	✓				
Fosfor	Ph		✓	✓	✓			
Fosforită			✓					
Gadoliniu – PR	Gd			✓	✓	✓	✓	✓
Galiu	Ga	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Germaniu	Ge	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Grafit natural		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hafniu	Hf	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Heliu	He		✓				✓	✓
Holmiu – PR	Ho	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Iridiu – GP	Ir	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Lantan – PR	La		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Litiu	Li	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lutețiu – PR	Lu	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Magneziu	Mg	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Mangan	Mn	✓	✓			✓	✓	
Molibden	Mo					✓	✓	
Neodim – PR	Nd			✓	✓	✓	✓	✓
Nickel	Ni	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Niobiu	Nb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Osmiu – GP	Os					✓	✓	
Paladiu – GP	Pd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Platină – GP	Pt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Potasiu	K					✓	✓	
Praseodim – PR	Pr							✓
Prometi – PR	Pm			✓	✓	✓	✓	✓
Reniu	Re						✓	✓
Rodiu – GP	Rh	✓	✓	✓			✓	
Rubidiu	Rb	✓						✓
Ruteniu – GP	Ru	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Samariu – PR	Sm		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scandiu – PR	Sc	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Seleniu	Se						✓	
Siliciu metal	Si	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Stibiu (Antimoniu)	Sb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Stronțiu	Sr		✓				✓	
Taliu	Tl							✓
Tantal	Ta	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Telur	Te	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Terbiu – PR	Tb		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toriu	Th							✓
Tuliu – PR	Tm		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Titan metal	Ti	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Uraniu	U					✓		
Vanadiu	V							✓
Wolfram (Tungsten)	W	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yterbiu – PR	Yb		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ytriu – PR	Y		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zinc	Zn	✓						✓
Zirconiu	Zr	✓				✓	✓	✓

✓ Materii Prime Critice incluse in Listă
 GP = elemente metalice din Grupa Platinei; TR = elemente din grupul Pământurilor Rare

Tabel 2 – Analiza comparativă a principalelor Liste de MPC
 (sursa datelor primare: UE, 2023; 2024; USGS, 2022, 2023; BGS, 2023, E&Y, 2024; IRENA, 2023, IEA, 2023)

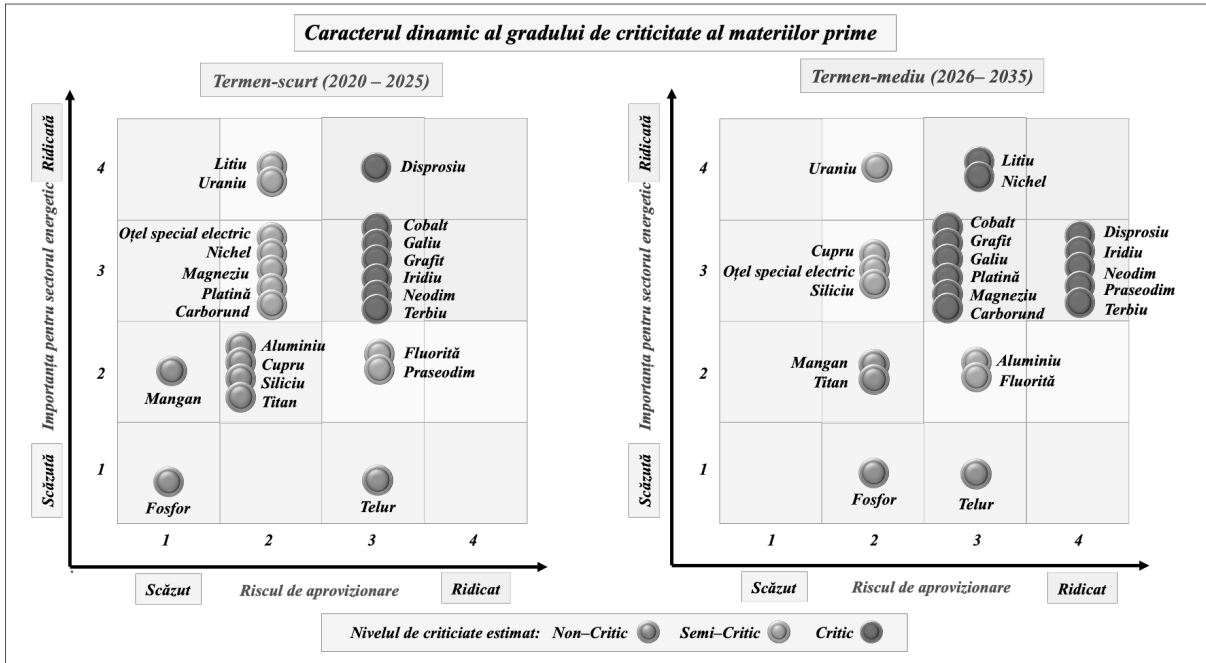


Fig. 7 – Caracterul dinamic al gradului de criticitate al materiilor prime (sursa datelor primare: UE, 2023; USGS, 2023; BGS, 2023)

Principalii producători de MPC la nivel global și în spațiul UE

Aprovizionarea Uniunii Europene cu majoritatea materiilor prime minerale și metalelor necesare pentru producția avansată și pentru reducerea emisiilor în economie printr-un sistem de energie curată provine aproape în întregime din străinătate prin lanțuri internaționale complexe, dinamice, care au adesea o vizibilitate slabă de la un capăt la celălalt (Fig. 8 și Fig. 9). Deși în spațiul UE sunt produse unele materii prime critice (Fig. 10), în

special hafniu, totuși pentru satisfacerea majorității cererii, piața UE este dependentă de importurile de MPC din țări terțe, iar aprovizionarea este foarte concentrată geografic. De exemplu, China furnizează 100% din aprovizionarea UE cu elementele grele de grupul pământurilor rare, Turcia furnizează cca. 99% din cererea de bor a UE, iar Africa de Sud asigură cca. 71% din necesarul UE de platină și o cotă și mai mare de alte metale din grupul platinei, cum sunt iridiu, rodiu și ruteniu.

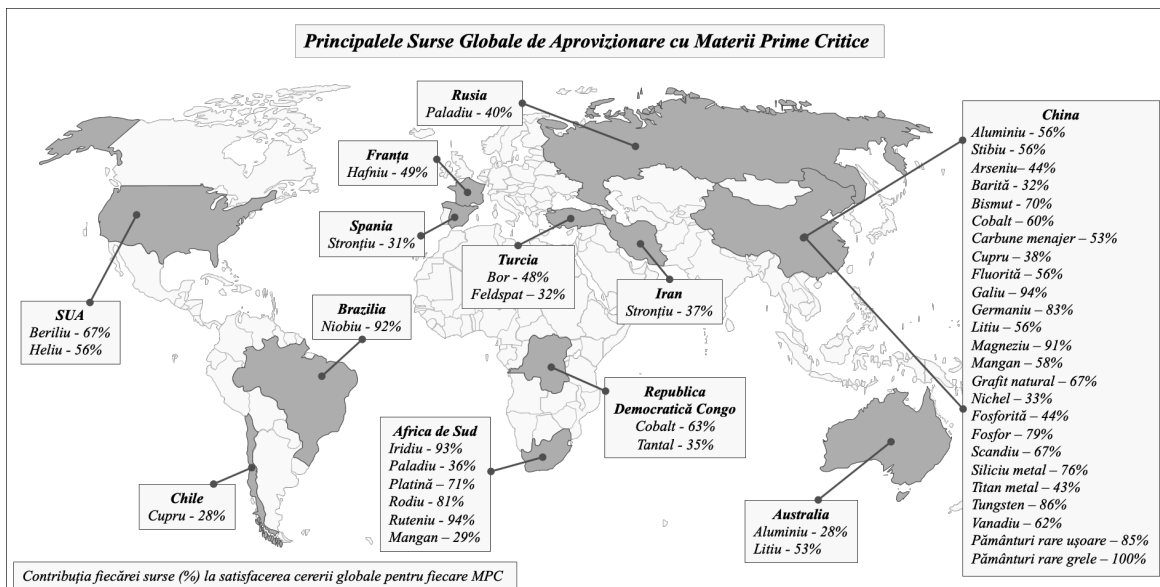


Fig. 8 – Principalele surse globale de aprovizionare cu materii prime critice. (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023; UE, 2023; USGS, 2023; BGS, 2023).

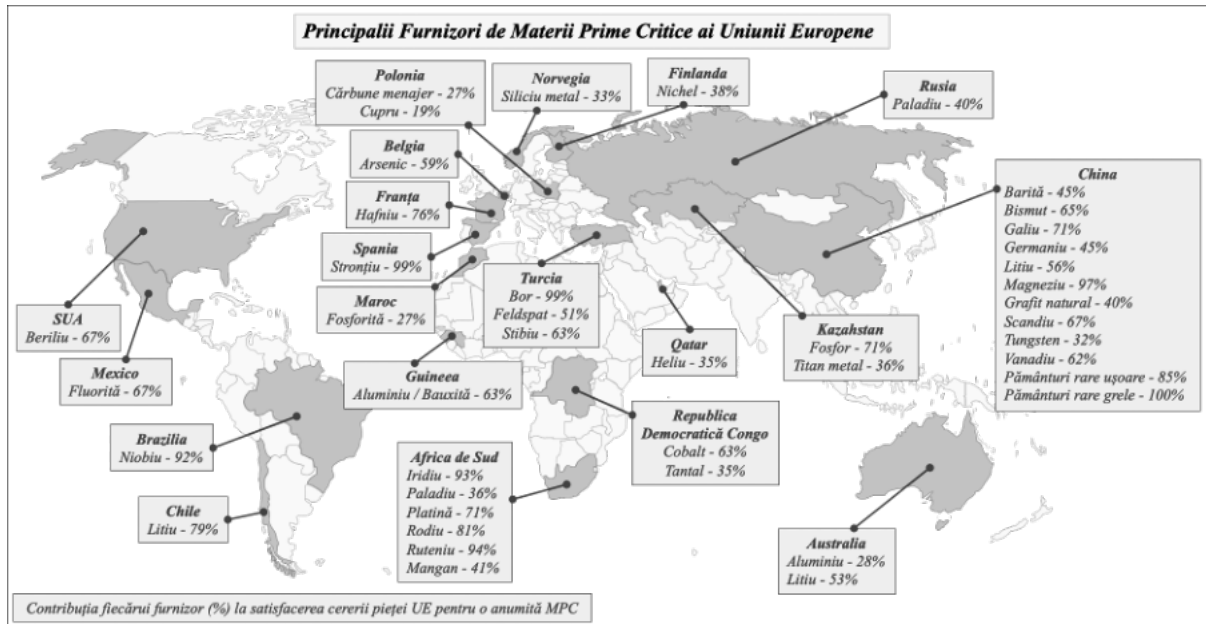


Fig. 9 – Principali furnizori de materii prime critice ai Uniunii Europene (sursa datelor primare: Energy Institute, 2024; IEA, 2023; IRENA, 2023; UE, 2023; USGS, 2023; BGS, 2023)

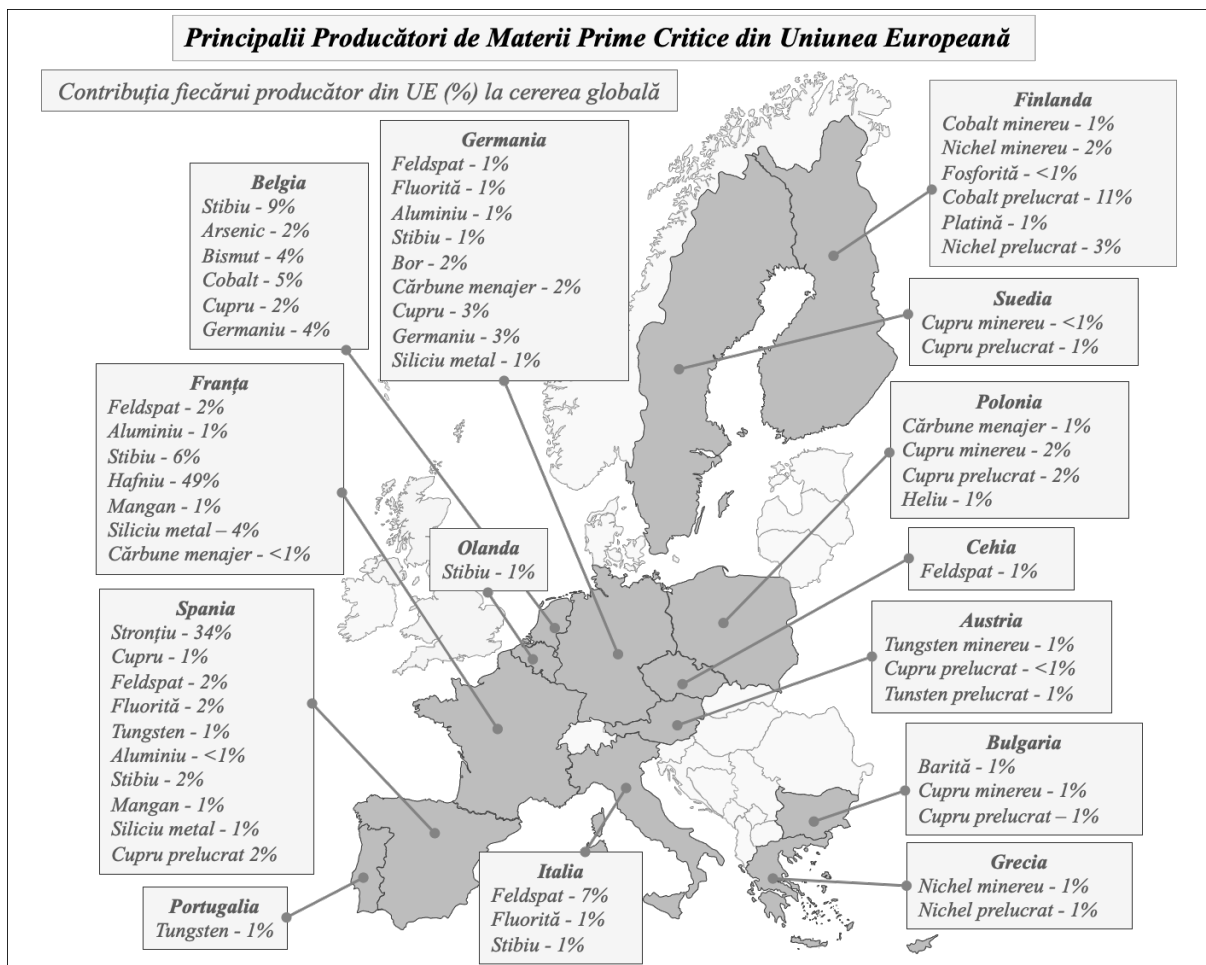


Fig. 10 – Principali producători de materii prime critice din Uniunea Europeană (sursa datelor primare: Energy Institute, 2024; IEA, 2023; UE, 2023; BGS, 2023)

În condițiile geopolitice actuale, Comisia Europeană, urmărind realizarea unui inventar complet al potențialului geologic al UE pentru a asigura dezvoltarea durabilă și independentă a economiei cu asigurarea aprovizionării cu materii prime strategice, a lansat în anul 2022 proiectul Un Serviciu Geologic pentru Europa, sub coordonarea EuroGeoSurvey (EGS), cu 48 de instituții participante, printre care și Institutul Geologic al României. Programul este finanțat prin intermediul Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu.

Obiectivul principal al proiectului este dezvoltarea și punerea la dispoziție permanentă a datelor geologice paneuropene și oferirea de servicii de informare pentru utilizarea durabilă și sigură a resurselor geologice onshore (continentale) și offshore (din domeniul marin). Proiectul se bazează pe inovația în modul în care informațiile geologice sunt conceptualizate, organizate, vizualizate, furnizate și traduse pentru nevoile unei largi audiențe, utilizând metodologii și tehnici noi pentru a realiza acest lucru. Această acțiune paneuropeană se realizează în fiecare din țările membre prin Serviciile Geologice Naționale sau/și prin instituții naționale specializate. Obiectivele tematice ale acestui proiect vizează cercetarea și explorarea geologică pentru evidențierea și evaluarea de noi materii prime critice din zonele onshore și offshore, din deșeurile miniere (halde și iazuri), a materialelor de construcție, a hazardelor naturale (în special a eroziunii costiere), etc. Tematica acceptată răspunde cerințelor impuse de acțiunile ONU referitoare la schimbările climatice și tranziția energetică.

Un succes major al Consiliului Europei și al Parlamentului European pentru consolidarea securității energetice în spațiul UE îl constituie adoptarea și intrarea în vigoare de la 23 mai 2024 a *Regulamentului de instituire a unui cadru pentru asigurarea aprovizionării sigure și durabile cu materii prime critice*, care așa cum sublinia Ebba Busch, viceprim-ministrul Suediei și ministru al energiei, mediului de afaceri și industriei, „dezvoltă lanțurile de aprovizionare cu materii prime critice și de materii prime reciclate și prelucrate, consolidează criteriile de durabilitate, adaptează procesul de acordare a autorizațiilor și analizează

obligațiile statelor membre pentru a se asigura că se țin seama de situațiile lor diferite”.

De asemenea, *Actul privind materiile prime critice* stabilește valori clare de referință pentru capacitățile interne ale UE, care ar urma să fie atinse până în 2030, de-a lungul lanțului de aprovizionare cu materii prime critice și strategice: 10% din necesarul anual al UE pentru extracție, 40% din necesarul anual al UE pentru prelucrare și 25% din necesarul anual al UE pentru reciclare. În plus, nu mai mult de 65% din consumul anual al UE pentru fiecare materie primă strategică, în orice etapă relevantă de prelucrare, poate proveni din aceeași țară terță. Actul european privind materiile prime critice urmărește să consolideze capacitățile și să întărească poziția de negociere a UE pentru fiecare verigă a lanțului valoric al MPC, în scopul de a spori reziliența lanțurilor de aprovizionare prin reducerea dependențelor și a vulnerabilităților, prin promovarea sustenabilității și circularității, precum și prin creșterea gradului de competențe în gestionarea lanțului de aprovizionare.

Trilema materiilor prime critice

Trilema MPC se referă la provocările industriei ca în următoarele decenii să echilibreze prioritățile legate de disponibilitatea, accesibilitatea și durabilitatea materiilor prime necesare tranziției energetice.

Disponibilitatea – Industria va trebui să răspundă cererii mereu crescânde de MPC ca urmare a necesității de implementare, în sprijinul tranziției energetice, a unui număr impresionant de mare de active și tehnologii cu emisii reduse. În același timp, industria va trebui să asigure securitatea aprovizionării cu MPC într-un context geopolitic și economic de concentrare extrem de ridicată a industriei extractive miniere și a celei de prelucrare a minereurilor în doar câteva țări (Fig. 11).

Pentru a ameliora acesta concentrare excesivă, precum și emergența unor tendințe de naționalism al resurselor (Fig. 12), peisajul de reglementare este deja în schimbare prin politicile sau propunerile legislative recente cu tendințe de regionalizare, cum sunt *Actul de reducere a inflației* din Statele Unite ale Americii și *Legea materiilor prime critice și Planul industrial Green Deal* din Uniunea Europeană.

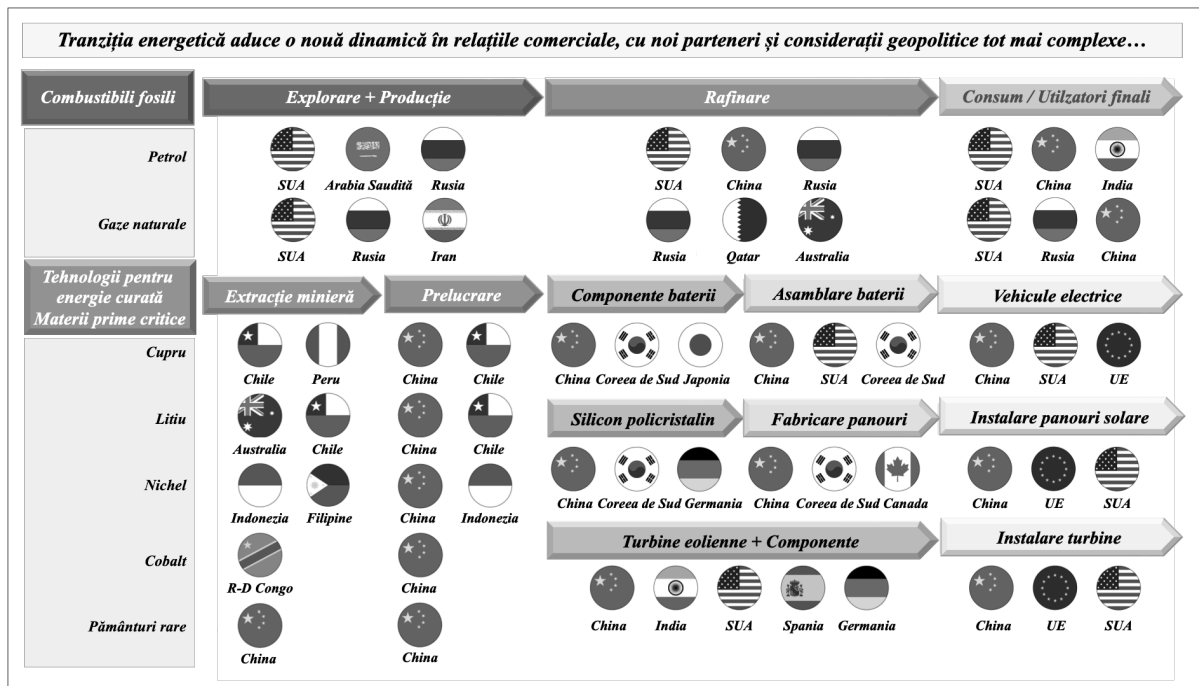


Fig. 11 – Tranziția energetică aduce o nouă dinamică în relațiile comerciale (sursa datelor primare: Energy Institute, 2024; IEA, 2023; IRENA, 2023)

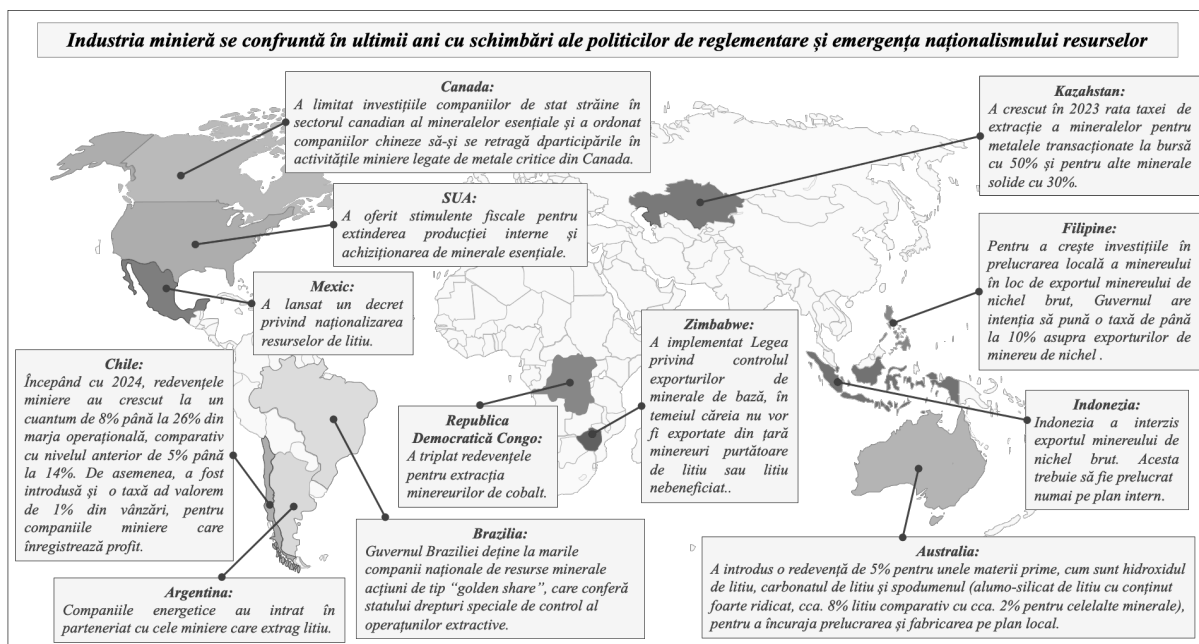


Fig. 12 – Industria minieră se confruntă cu schimbări ale politicilor de reglementare și emergența naționalismului resurselor (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023, E&Y, 2024)

Accesibilitatea – De asemenea, industria extractivă și de prelucrare a mineralelor va trebui să mențină prețuri competitive pentru asigurarea accesului la MPC, dar și la produsele și soluțiile tehnologice care sunt fabricate din aceste materiale.

Durabilitatea – Amplearea la care tranziția net-zero afectează lanțurile valorice globale ale materialelor (Fig. 13) va depinde de viteza de

decarbonare, precum și de alegerile de proiectare făcute pentru fiecare tehnologie (baterii, motoare electrice, electroizoare etc).

Industria va trebui să se concentreze pe reducerea cu prioritate a amprentei sale de emisii de gaze cu efect de seră (GES), care reprezintă în prezent cca. 20% din emisiile globale. În plus, aspectele legate de durabilitatea operațiunilor miniere

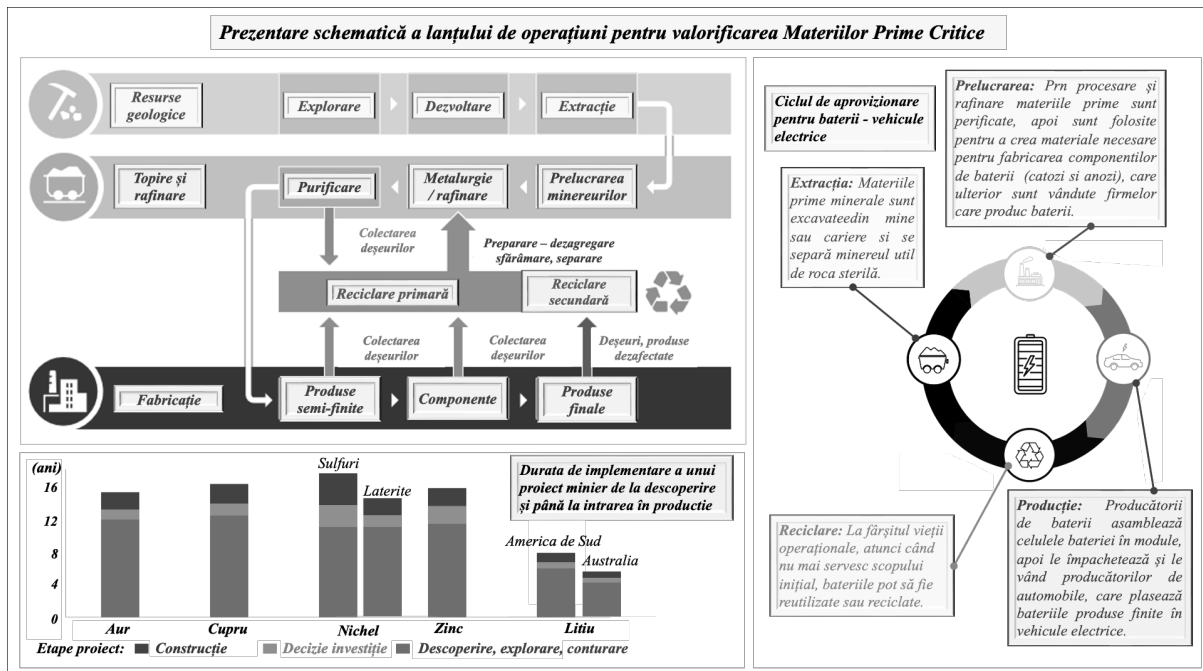


Fig. 13 – Prezentare schematică a lanțului de operațiuni din sectoarele minier și energetic pentru valorificarea MPC (sursa datelor primare: Energy Institute, 2024; IEA, 2023; IRENA, 2023; E&Y, 2024; McKinsey, 2023)

și de prelucrare a minereurilor se extind și asupra consumului de apă, a utilizării terenurilor, a biodiversității, dar și asupra condițiilor de muncă și salariale. Gestionarea eficientă a durabilității poate reprezenta și o sursă semnificativă de valoare comercială, în situația în care unele piețe de MPC, sunt dispuse să acorde bonificații de preț pentru produse cu certificate de sustenabilitate.

Având în vedere acești factori, tranziția net-zero ar putea propulsa în mod direct creșterea materialelor în două moduri. În primul rând, tehnologiile cu emisii reduse de carbon consumă adesea în faza de construcție mai multe materiale decât omologii lor convenționali. În al doilea rând, tehnologiile cu emisii reduse de carbon necesită o nouă suită de materiale care au fost produse doar în cantități limitate în trecut, cum ar fi litiu, un material critic pentru baterii sau elemente din pământuri rare, cum ar fi disprosiul și neodimul, care sunt utilizate în magneții permanenți.

Tranziția ar putea, de asemenea, să conducă în mod indirect la creșterea cererii de materiale utilizate la prelucrarea materiilor prime (e.g. acidul sulfuric, care este utilizat în procesarea nichelului și litiului) sau în fabricarea unei tehnologii (cum ar fi cuarțul de înaltă puritate, care este folosit drept creuzet la fabricarea panourilor fotovoltaice).

Tehnologiile cu emisii reduse, cum ar fi energia solară și eoliană și vehiculele electrice au proprietăți avantajoase și pot fi reunite pentru a oferi performanțe ridicate. Recunoașterea faptului că tranziția energetică reprezintă în primul rând o succesiune de transformări de natură fizică ale sistemului energetic este extrem de importantă pentru a putea înțelege și evalua performanțele sistemului actual și de a identifica soluțiile care pot conduce la creșterea performanței și eficienței unui nou sistem energetic, care să asigure o cale accesibilă, fiabilă și competitivă către net-zero.

Pentru ca tranziția energetică să reușească, trebuie depășite unele provocări fizice semnificative, cum sunt:

- (i) maturitatea și nivelul de performanță al tehnologiilor cu emisii scăzute,
- (ii) gradul de scalare a acestor tehnologii,
- (iii) disponibilitatea infrastructurii de sprijin pentru implementarea globală și operarea la scară industrială a acestor tehnologii,
- (iv) eficiența și adaptabilitatea lanțurilor de aprovizionare pe măsură ce acest sistem energetic masiv este transformat, precum și
- (v) gestionarea eficientă a interdependențelor între diferitele părți componente ale sistemului energetic.

Multe dintre aceste materii prime sunt deja transportate în întreaga lume în cantități substanțiale (Fig. 14) prin intermediul lanțurilor globale de aprovizionare, exemple fiind minereul de fier în fabricarea oțelului, calcarul pentru fabricarea cimentului și lemnul pentru materiale de construcție alternative. Securizarea acestor minerale critice este principala provocare fizică în domeniul materiilor prime. Pentru a ne asigura că sunt disponibile suficiente minerale critice în sprijinul implementării tehnologiilor cu emisii scăzute este necesară extinderea la o scară largă, fără precedent a activităților de extracție și prelucrare minieră.

Majoritatea materiilor prime critice necesare tranziției energetice se încadrează în patru mari categorii în funcție de tipul tehnologiilor în care sunt utilizate:

- Baterii – Cobaltul, grafitul, litiul și nichelul sunt folosite în baterii, cum ar fi cele care alimentează vehiculele electrice și pentru echipamentele de stocare la nivel de rețea.

- Magneți permanenți – Multe dintre pământurile rare sunt utilizate în magneții permanenți,

care reprezintă componente cheie pentru motoarele vehiculelor electrice și pentru turbinele eoliene.

- Electrificare și infrastructură – Cuprul și aluminiul sunt utilizate în cablarea electrică, pentru rețelele de transmisie a energiei electrice și transformatoare.

- Aplicații pentru componente tehnologice – Alte materii prime critice, cum sunt iridiul (utilizat în electrolizoarele care permit producerea de hidrogen verde) și siliciul (component esențial pentru fabricarea panourilor solare).

Accelerarea dezvoltării producției de energie din surse regenerabile necesită atât *modernizarea rețelelor de transport și distribuție* a energiei electrice, cât și crearea de *noi coridoare de transport* pentru a conecta resursele regenerabile care se află departe de centrele de cerere, cum ar fi orașele și zonele industriale.

Extinderea la scară a mineralelor critice este încă în fazele sale incipiente. Se estimează (McKinsey, 2024) că oferta actuală de materii prime critice este doar cca. 10% până la cca. 35% din

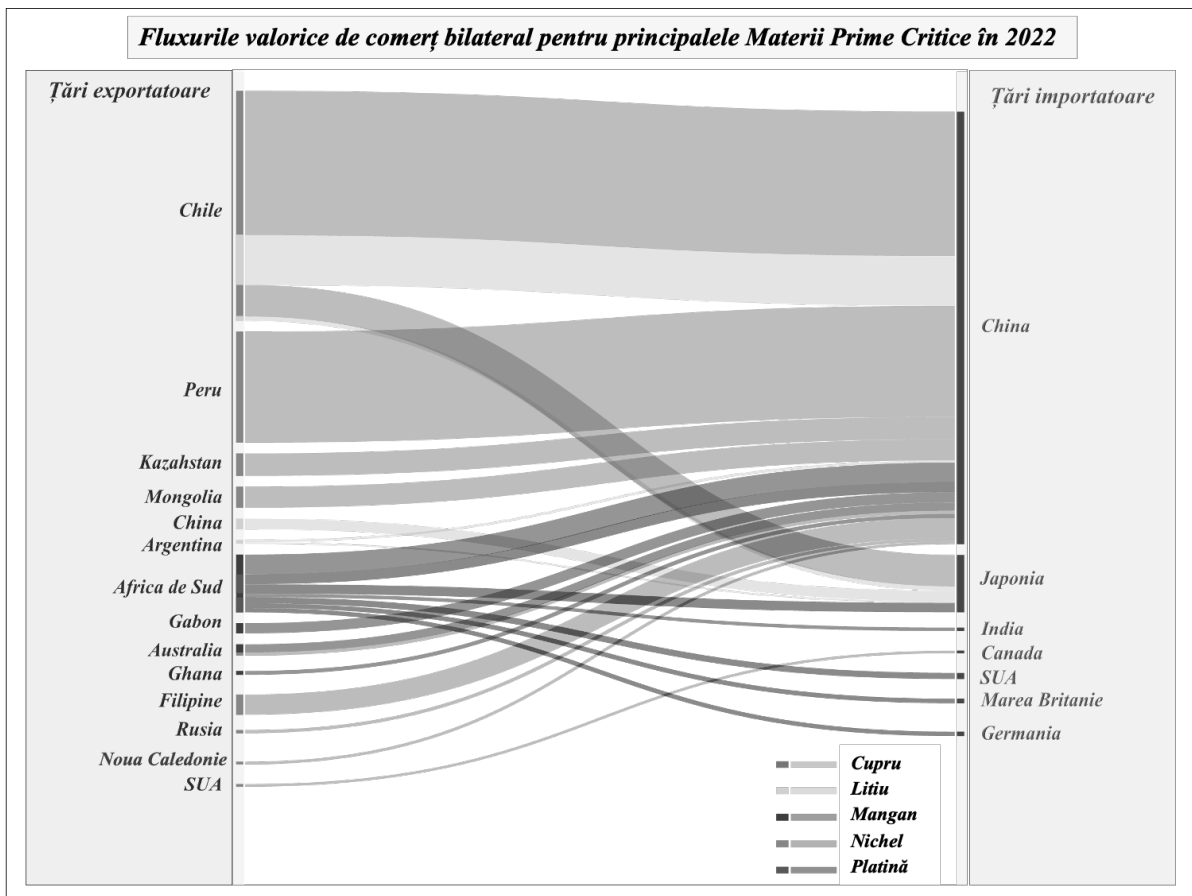


Fig. 14 – Fluxurile valorice de comerț bilateral pentru principalele materii prime critice. (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023, Rystad Energy 2024)

cea ce ar fi necesar până în 2050, în scenariul care permite atingere țintei net-zero. Pentru a reduce decalajul, este necesar să se acționeze simultan atât pentru extinderea substanțială a ofertei (e.g. disponibilitatea rezervelor și a resurselor, posibilitatea de punere în exploatare a unor noi capacități miniere – surse suplimentare de aprovizionare, extinderea capacităților existente și/sau construirea unor noi facilități pentru prelucrarea minereurilor), cât și gestionarea cererii (e.g. substituția tehnologică și implicațiile acestei abordări asupra performanței tehnologice).

Se prognozează că până în 2030 tehnologiile cu emisii scăzute o să genereze peste 50% din cererea pentru multe minerale critice și până la cca. 80%, sau chiar cca. 90%, din cererea de litiu și pământuri rare, cum ar fi disprosiu, praseodim, neodim și terbiu. Creșterea cererii va fi probabil deosebit de pronunțată în perioada următoare, până în 2030.

Evaluările făcute la începutul anului 2024 cu privire la echilibrul dintre cererea și oferta MPC pentru scenariile net-zero (IEA, IRENA și Comisia pentru Tranziții Energetice) au relevat cu

precădere posibilitatea de apariție a unor dezechilibre de aprovizionare (Fig.15). Mărimea acestor dezechilibre depinde de ipotezele cu privire la ritmul de implementare a tehnologiilor cu emisii scăzute, de combinația specifică de tehnologii presupuse (e.g. chimismul bateriilor) și de rata de creștere a surselor de aprovizionare.

Rezervele recuperabile de MPC sunt considerate ca suficiente, dar riscul unor potențiale blocaje în aprovizionare este datorat în principal incertitudinilor privind durata de timp necesară pentru ca implementarea unor noi surse de aprovizionare suplimentare să devină complet operațională.

De fapt, pe plan global rezervele recuperabile și resursele de metale și materiale precum cuprul, litiul și nichelul au crescut în ultimii ani (Fig. 16), pe măsură ce au fost finalizate cu succes programe complexe de explorare și descoperire-construire-dezvoltare a unor noi depozite minerale. Cu toate acestea, durata de timp pentru valorificarea acestor rezerve este încă foarte mare. IEA a estimat că, în medie, a durat cca.17 ani pentru ca proiectele de minerale critice să treacă de la descoperire la producție.

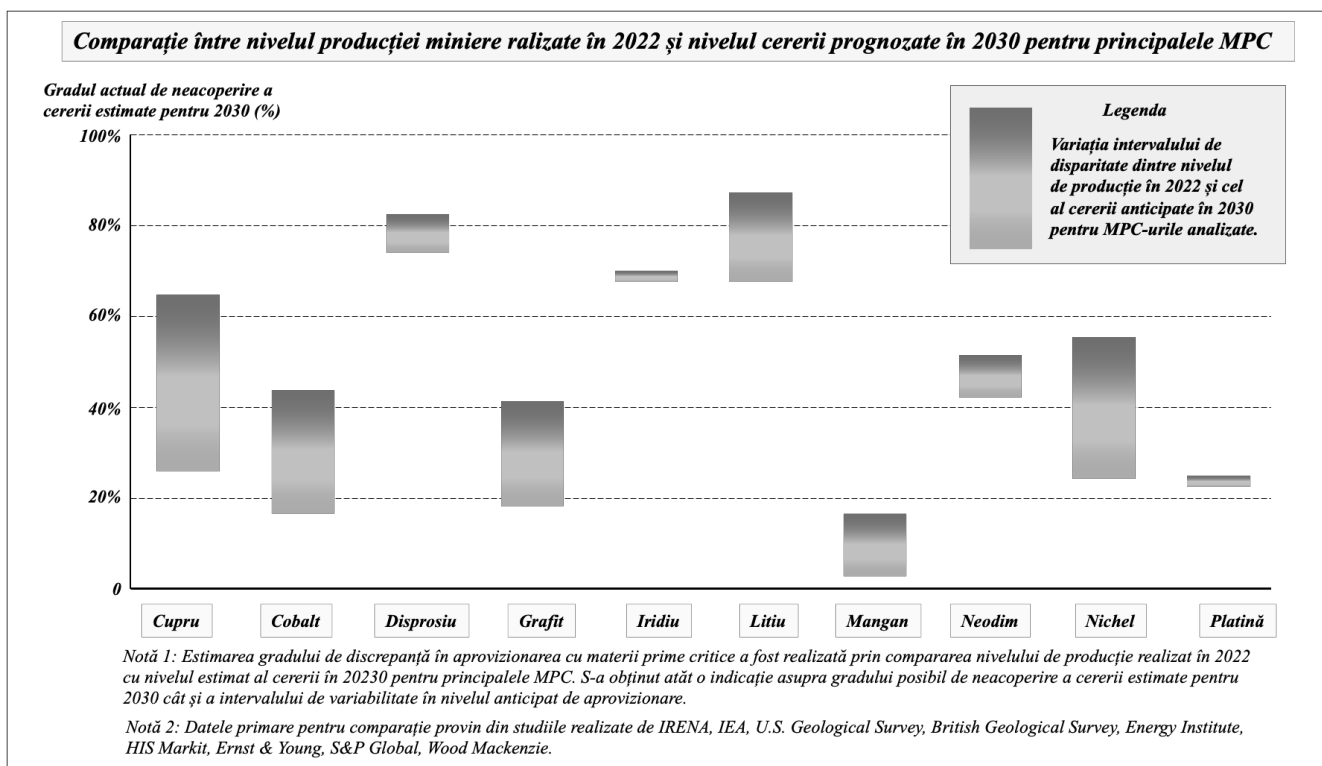


Fig. 15 – Estimarea gradului actual de discrepanță în aprovizionarea cu principalele materii prime critice – orizont 2030 (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023; E&Y, 2024; Rystad Energy, 2024)

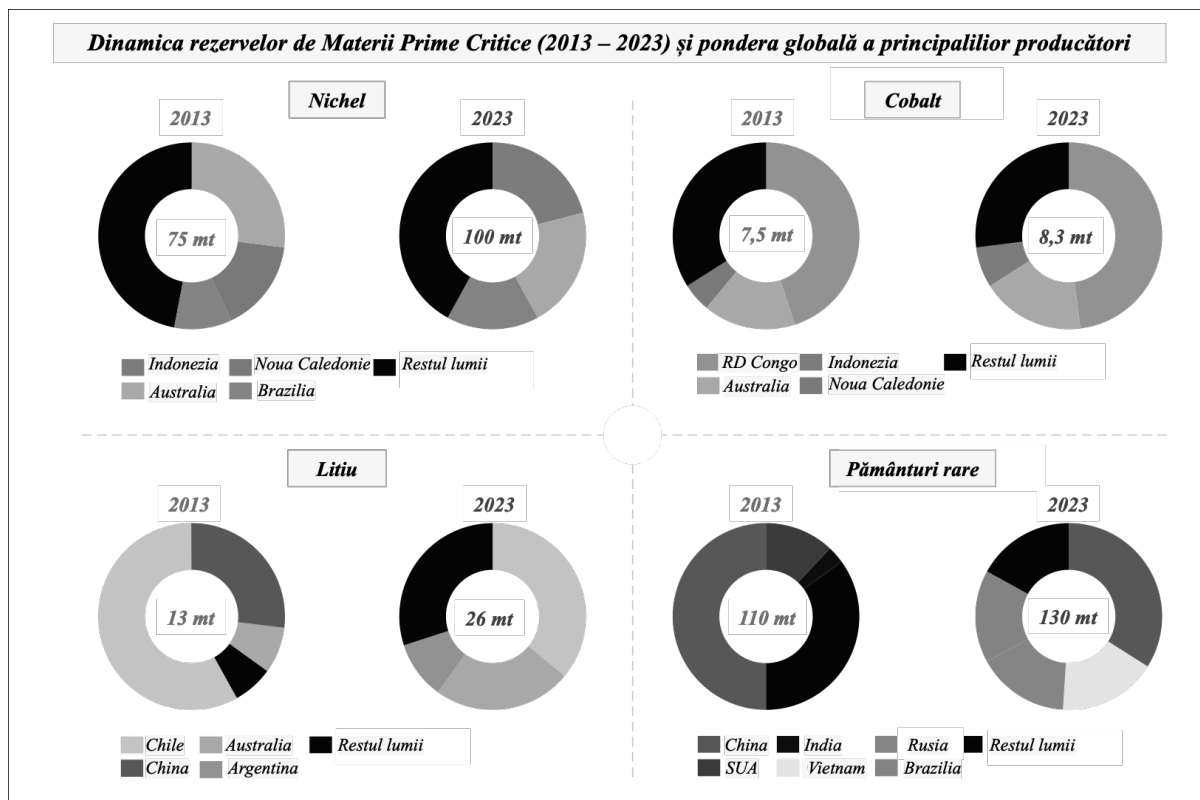


Fig. 16 – Dinamica rezervelor pentru principalele materii prime critice în perioada 2013 – 2023 (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023, E&Y, 2024; Rystad Energy, 2024)

Pentru a atenua dezechilibrele dintre oferta proiectată și cererea estimată pentru minerale critice ar fi necesară o combinație de pârghii suplimentare:

- Accelerarea ofertei

Există o serie de opțiuni pentru creșterea ritmului de aprovizionare cu minerale critice. O opțiune ar fi accelerarea duratei de implementare a noilor proiecte prin eficientizarea proceselor de autorizare și planificare a investițiilor. Noile tehnologii ar putea accelera, de asemenea, timpul necesar dezvoltării de noi proiecte. Explorarea pentru noi resurse minerale ar putea fi accelerată prin utilizarea noilor tehnologii pentru îmbunătățirea estimărilor zăcămintelor potențiale și selecția locațiilor optime pentru lucrările miniere. Reciclarea materiilor prime ar putea fi, de asemenea, utilizată ca o sursă complementară pentru a suplimenta aprovizionarea primară. În prezent, ratele de reciclare pentru multe minerale critice sunt relativ scăzute. Astfel de măsuri de intensificare a reciclării pot crește volumul aprovizionării, dar impactul lor nu se va resimți imediat.

- Reducerea cererii

În unele cazuri, este posibilă reducerea cantității de minerale critice necesare pentru a

fabrica o anumită tehnologie de energie curată, conducând în acest mod la reducerea intensității materiilor prime pentru aplicația respectivă.

Substituțiile pentru unele minerale critice, care pot fi posibile dacă inovația tehnologică o permite, reprezintă alte posibilități de reducere a cererii. Cu toate acestea, chiar dacă inovația are rezultate, ar putea exista compromisuri; unele înlocuiri ar putea duce la performanțe tehnologice mai scăzute. Un alt exemplu este faptul că unii producători de automobile intenționează să se orienteze către motoare electrice care nu conțin elemente de pământuri rare, deși unele dintre aceste tehnologii alternative, cu substituții de materii prime, ar putea avea performanțe mai scăzute. În general, pe măsură ce implementările de noi tehnologii care necesită cantități mai mici de MPC încep să apară, multe dintre ele ar trebui să aibă o scară mult mai mare pentru ca impactul lor asupra cererii să fie cu adevărat resimțit. De exemplu, ponderea motoarelor fără pământuri rare ar putea crește de la mai puțin de 10% din aprovizionarea totală în prezent, până la a constitui majoritatea aprovizionării până în 2030.

Provocări în extracția și prelucrarea minieră a materiilor prime critice

Exploatarea și rafinarea mineralelor critice de astăzi tind să fie concentrate în mare parte în câteva economii. Acest lucru oferă o eficiență ridicată bazată pe specializare și know-how, dar prezintă și riscuri de întrerupere a lanțului de aprovizionare care, dacă sunt semnificative, ar putea chiar să întârzie tranziția energetică. Această realitate a devenit din ce în ce mai accentuată, având în vedere recentele tensiuni geopolitice cu profund impact asupra relațiilor comerciale și contractuale. În mai multe cazuri, aceste tensiuni au generat și întreruperi în lanțurile de aprovizionare, care au afectat fluxurile globale de minerale critice.

Pentru multe dintre mineralele critice necesare pentru tranziția energetică, inclusiv cobalt, litiu, grafitul natural, nichelul și pământurile rare, aprovizionarea se bazează în principal doar pe trei surse, primii trei producători globali, care dețin în cele mai cazuri peste 50% din extracție, iar în unele cazuri extreme, chiar peste 80% (Fig. 17).

Prelucrarea mineralelor tinde să fie și mai concentrată geografic, China deținând mai mult de 60% din capacitățile de prelucrare a cobaltului, litiului, grafitului natural și a pământurilor rare.

O anumită diversificare este în curs de desfășurare atât în sectorul de extracție, cât și în cel de prelucrare minieră, dar se poate confrunta cu unele bariere de implementare.

Un prim obstacol sunt constrângerile legate de protejarea mediului. În ultimii ani, au fost respinse de comunitățile locale mai multe proiecte miniere de exploatare a unor noi zăcăminte de minerale din Chile, Serbia și Statele Unite. Astfel de îngrijorări se referă, de exemplu, la cerințele de energie și apă în producția și prelucrarea mineralelor critice.

O altă problemă este că mineralele critice conduc adesea la mai multe depozite sterile decât alte minereuri extrase mai frecvent, cum ar fi fierul, iar unele dintre produsele sterile separate în extracție și deșeurile de prelucrare pot conține substanțe periculoase care pot afecta mediul ambiant.

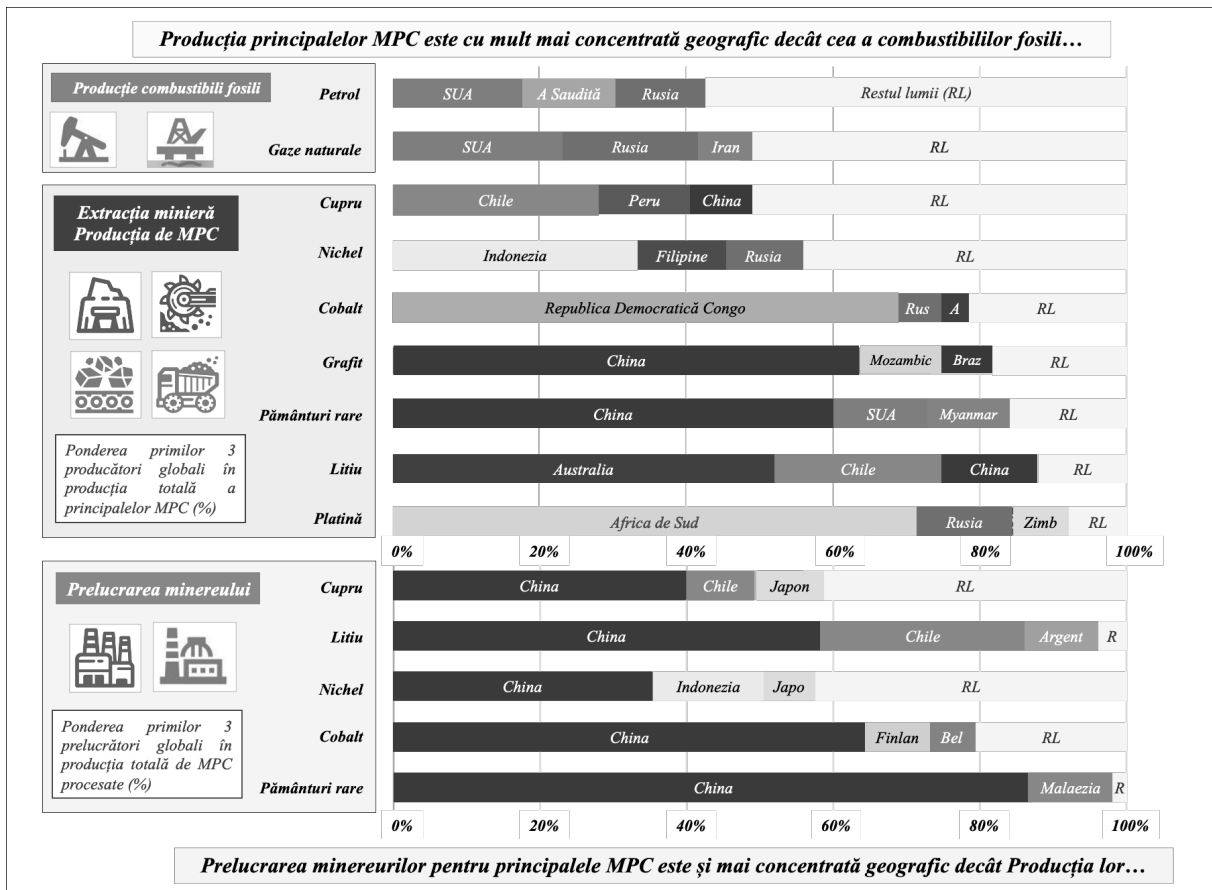


Fig. 17 – Gradul de concentrare geografică a activităților de extracție și prelucrare minieră pentru principalele materii prime critice. (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023, E&Y, 2024; Rystad Energy, 2024)

Se estimează că la nivel global ar putea fi creată până în 2050 o cantitate de până la cca. 13 miliarde de tone de roci sterile.

Extinderea surselor de aprovizionare cu MPC prin introducerea în circuitul comercial a noi capacități face necesar ca activitățile miniere să își accelereze ritmul de creștere pentru multe materiale dincolo de ratele istorice.

Investițiile în minerit, prelucrare, rafinare și topire vor trebui să crească până în 2030 cu cca. 3 trilioane USD, până la 4 trilioane USD, inclusiv cheltuielile de investiții pentru explorare și proiecte noi aflate în curs de dezvoltare. În plus, se estimează un necesar suplimentar de forță de muncă specializată în minerit de cel puțin cca. 300.000 de profesioniști. Furnizarea de energie pentru operațiunile miniere este un alt factor ce trebuie luat în considerare, deoarece pentru a susține creșterea sectorului minier se estimează că până în 2030 va fi necesar un supliment de energie electrică de cca. 250 GW (preferabil din surse cu emisii GES reduse), echivalent a cca. 5% din capacitatea estimată de energie regenerabilă (fotovoltaică și eoliană) produsă în aceeași perioadă.

Unele resurse de minerale critice sunt localizate în zone ce prezintă dificultăți pentru desfășurarea activităților miniere, care sunt accesibile doar în anumite perioade ale anului din cauza vremii (permit doar exploatarea sezonieră) sau în care nu există suficientă apă.

Există modalități de a atenua o parte din impactul extracției minerale asupra mediului. O abordare potențială este creșterea eficienței procesului de extracție prin inovație tehnologică. De exemplu, prelucrarea secundară a sterilului de minereu de cupru cu noi solvenți și reactivi pentru a extrage mai mult minereu de cupru ar putea să reducă cantitatea de steril. În mod similar, extracția directă a litiului ar putea reduce cantitatea de apă necesară pentru prelucrarea primară.

În 2023, UE împreună cu alte 14 țări au anunțat *Parteneriatul pentru securitatea mineralelor* cu scopul de a dezvolta o aprovizionare mai diversificată cu minerale critice, inclusiv în sectoarele de extracție și prelucrare, și au anunțat noi proiecte de cooperare pentru diversificarea procesării pentru nichel și grafitul natural.

Care sunt implicațiile pentru România pe termen scurt și mediu? Ce avem de făcut?

În conformitate cu prevederile pachetului de reglementare Critical Raw Materials Act, într-o perioadă de un an de la intrarea sa în aplicare, fiecare stat membru UE trebuie să prezinte un program propriu de explorare la nivel național, pentru inventarierea și localizarea de detaliu a portofoliului de resurse de materii prime care există pe teritoriul lor. Având în vedere că statele din nordul Europei sunt mai avansate cu înregistrarea cartografică a resurselor minerale, cerința UE este ca toate statele să transmită în 2025 programe de explorare actualizate, ale căror informații vor fi publice astfel încât să se poată atrage investitori.

România are capacitatea de a răspunde rapid cerințelor UE, având un potențial notabil în privința rezervelor minerale strategice și critice, cum sunt cupru, bor, magneziu, mangan, telur, stibiu, arsen și pământuri rare (Fig. 18).

La nivelul Parlamentului European s-au lansat estimări legate de cantitățile de metale critice asociate complexului metalogenetic de la Roșia Montană (2013), și anume: 161 de tone de telur, 49 de tone de germaniu, 172 de tone de seleniu, 116 tone de tantal, 777 de tone de taliu, 1 220 de tone de antimoni, 29 763 de tone de zinc, precum și cantități însemnate de arseniu, titan, molibden, vanadiu, nichel, cobalt și galiu, toate aceste materii prime fiind considerate de UE ca extrem de importante. Este doar un exemplu, dar România, pe lângă Roșia Montană, mai deține multe alte câmpuri miniere în Munții Apuseni (patrulaterul aurifer), în Banat (Moldova Nouă – Sasca Montană – Oravița) și în Maramureș, regiunea Baia Mare, în care sunt îndeplinite condițiile geologice de concentrare a mineralelor critice. Mai este necesar, să apară și investițiile în scopul valorificării acestor resurse ale subsolului românesc. Dincolo de aceasta, reconsiderarea potențialului geotermal, de roci ornamentale, și a resurselor secundare (deșuri mineralurgice) poate aduce rapid o creștere economică durabilă și locuri de muncă.

Resursele minerale secundare depozitate în **iazuri de decantare** și **halde de steril** (Fig. 19) prezintă un potențial foarte ridicat de valorificare industrială prin posibilitatea recuperării metalelor prețioase, critice și utile de bază, rămase după

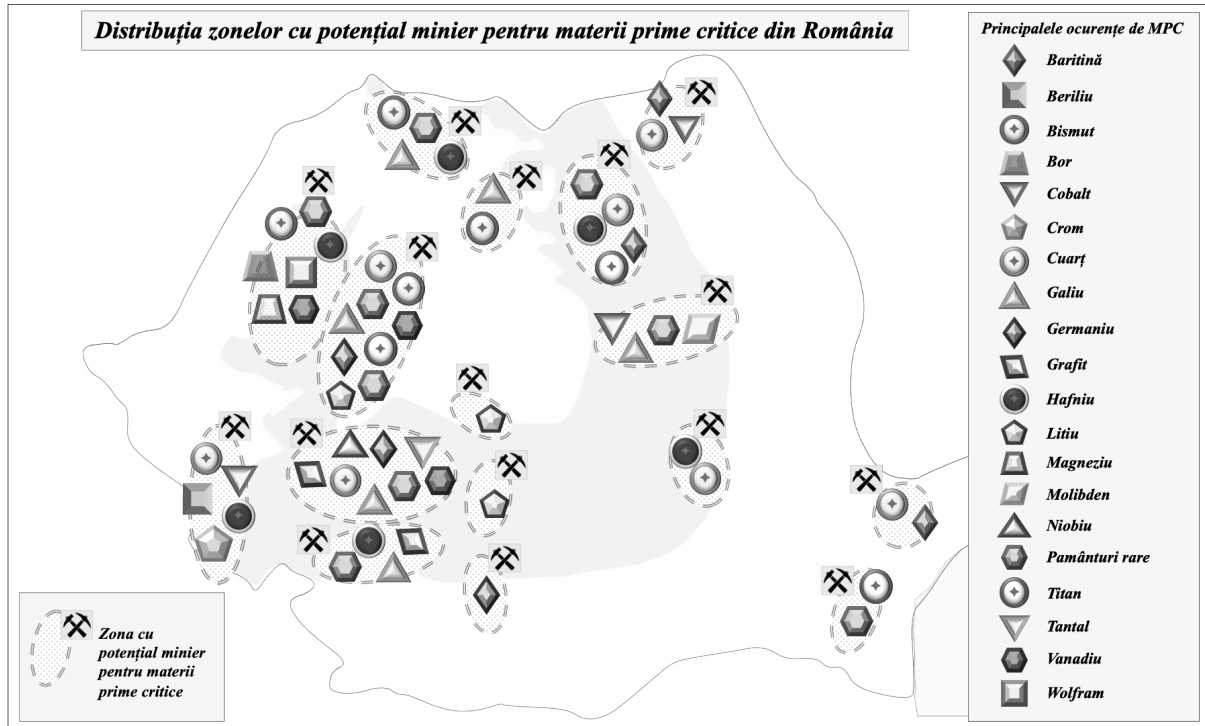


Fig. 18 – Distribuția zonelor cu potențial minier pentru materii prime critice din România (Anastasiu și Morariu, 2023)

exploatările miniere (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, W, Mo etc.), sau a unor elemente care au intrat recent în sfera de interes a valorificării industriale (Ge, In, Te, Cd, Sb), prin utilizarea mineralelor însoțitoare (cuarț, feldspat, minerale argiloase),

sau prin folosirea unor tipuri de reziduuri ca amelioratori pentru cazurile în care conținuturile de metal sunt foarte scăzute. (de exemplu, în cazul unor halde ale minelor de cărbune).

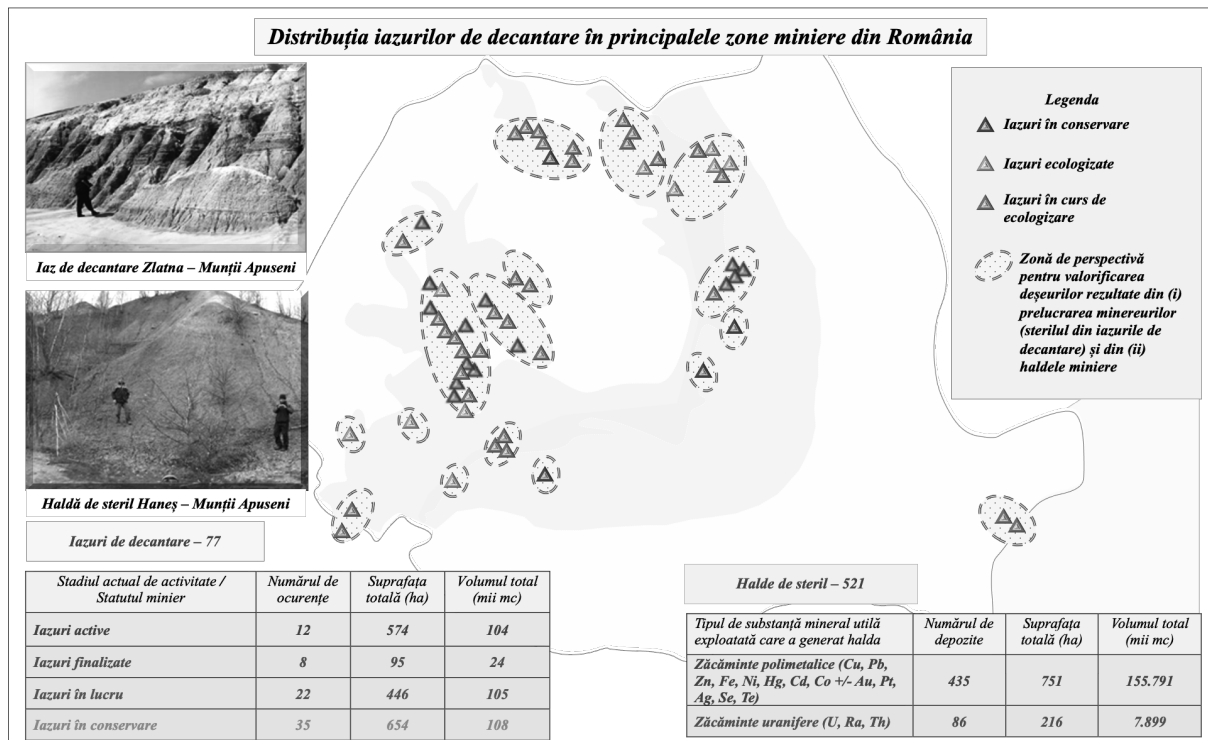


Fig. 19 – Distribuția zonelor cu potențial pentru resurse minerale secundare din România (Anastasiu și Morariu, 2024)

Reintroducerea în circuitul economic a *resurselor secundare* va contribui la creșterea gradului de securitate și sustenabilitate a aprovizionării cu *materii prime critice* esențiale în sectoare industriale cheie pentru economia națională și europeană.

Obiectivele prioritare ale României în procesul de inițiere a unei *strategii durabile* trebuie să aibă în vedere: *valorificarea echitabilă a resurselor minerale, energetice și a materiilor prime critice; accesul durabil la resurse; circuitul economic al resurselor prin promovarea reciclării și a creșterii eficienței lor; reconsiderarea industriei extractive (miniere și de prelucrare) în concordanță cu cerințele globalizate ale societății sec. XXI.*

Industria extractivă mai există doar într-o mică măsură în România, iar crearea unei strategii care să aibă în vedere valorificarea potențialului minier, evident în condiții profitabile pentru statul român, în acord cu toate directivele UE privind protecția mediului înconjurător, se impune mai mult ca oricând. Starea geopolitică globală și regională actuală este un alt argument care solicită o reconsiderare a resurselor minerale de care dispunem și a modului în care ele pot fi valorificate în viitor. În plus, dincolo de rezervele metalifere ale subsolului sau de studiile de fezabilitate care vor fi efectuate, este necesară și adoptarea unui cadru legal și de reglementare specific, modern și compatibil cu legislația europeană în domeniu. Toate acestea cer timp, chiar atunci când se întrevăd speranțe de realizare.

Înființarea recentă a Autorității Naționale de Reglementare în Domeniul Minier, Petrolier și al Stocării Geologice a Dioxidului de Carbon (AN-RMPSG)² prin restructurarea Agenției Naționale pentru Resurse Minerale (ANRM), precum și decizia Guvernului României de a modifica Legea minelor (85/2003) prin intermediul Ordonanței de Urgență nr. 77 din 21 iunie 2024 și finalizarea recentă de către Ministerul Economiei a *Strategiei Miniere pentru Resurse Minerale Neenergetice - orizont 2035*, se înscriu ca inițiative binevenite pentru deblocarea activităților miniere și deschiderea procedurilor de licitație pentru noi lucrări de explorare și exploatare în perimetre cu potențial de valorificare a MPC.

Un prim pas semnificativ în această direcție a fost făcut de Societatea Națională a Sării (Salrom

SA), în care Ministerul Economiei deține controlul cu o cota de participare de 51% din capitalul social, care a solicitat recent finanțare de la Uniunea Europeană pentru 2 proiecte de exploatare și prelucrare superioară a șisturilor grafitoase din zona Baia de Fier, cu o valoare totală de investiție de cca. 450 mln de euro, pentru a produce grafit pentru baterii. Proiectele, care sunt complementare, implică atât dezvoltarea de infrastructură necesară pentru extracția minieră în cariere și procesarea primară a șisturilor grafitoase, precum și valorificarea finală a acestora într-un complex de facilități de prelucrare cu tehnologii de ultimă generație, care să transforme grafitul extras în material de calitate pentru baterii, inclusiv *grafen* (folosit pentru unități de stocare și eliberare ultrarapidă a energiei, precum și în aplicații pentru industria aerospațială și cea de apărare).

Resursele minerale din oceanul planetar – O alternativă reală pentru nevoile tranziției energetice?

Creșterea cererii de minerale și metale, în tandem cu epuizarea treptată a unora din resursele terestre, a condus în ultimele decenii la o intensificare a interesului pentru resursele minerale marine. Deși până în prezent nu a avut loc la scară comercială nicio exploatare offshore de mare adâncime, o serie de operațiuni miniere sunt deja active în fundul mării de mică adâncime. Și totuși, pe fondul actual al creșterii cererii de materii prime critice, exploatarea minieră a resurselor offshore din ape de mare adâncime se apropie tot mai mult de realitate.

Fundul oceanului planetar, la fel ca și mediul terestru, are o geomorfologie complexă, fiind alcătuit din lanțuri muntoase, platouri, creste vulcanice, canioane și vaste câmpii abisale. Fundul mării conține cele mai multe din ocurențele minerale pe care le găsim pe uscat, adesea în forme îmbogățite, precum și asociații minerale care sunt unice pentru sectoarele oceanice cu ape de mare adâncime, cum ar fi crustele de feromangan și nodulii polimetaliici, numite generic „*seabed minerals*”.

În prezent, există un interes reînnoit atât din partea sectorului privat cât și la nivel guvernamental pentru evaluarea potențialului de exploatare comercială a mineralizațiilor din domeniul marin. Acest interes sporit este determinat de o combinație

de progrese tehnologice pentru extracția minieră offshore în ape de mare adâncime, transportul naval al minereului extras și prelucrarea minieră onshore, precum și de creșterea substanțială a cererii de minerale pe termen mediu și lung, în contextul necesarului de materiale pentru susținerea tranziției energetice. În acest nou context, fundul bazinelor marine, atât în sectoarele de ape internaționale cât și în cele din limita economică exclusivă a acvatoriului, ar putea deveni o sursă majoră de aprovizionare pentru satisfacerea nevoilor de minerale ale umanității. Prin urmare, este din ce în ce mai probabil ca mineralizațiile asociate zonelor de adâncime ale acvatoriului să aducă o contribuție importantă la dezvoltarea durabilă, în special pentru acele țări care nu au surse sigure de aprovizionare onshore, precum și pentru micile state insulare în curs de dezvoltare care nu au oportunități de dezvoltare economică.

Interesul comercial al zonelor offshore se concentrează în prezent pe trei tipuri principale de zăcăminte minerale (Fig. 20):

1. *Noduli polimetaliți*, care se găsesc pe fundul mării în sectoarele de câmpii abisale, adesea parțial îngropați în sedimente cu granulație fină. Nodulii conțin o mare varietate de metale, cu concentrații importante de mangan, fier, cupru, nichel, cobalt, plumb și zinc, dar și concentrații minore de molibden, litiu, titan și niobiu. Cea mai studiată zonă de interes comercial este Zona Clarion-Clipperton din oceanul Pacific de Est, la adâncimi ale apei între 3500 și 5500 de metri. Se estimează că numai depozitele din această zonă offshore conțin mai multe resurse de nichel, mangan și cobalt decât toate resursele terestre combinate. Alte zone de potențial interes pentru noduli polimetaliți sunt bazinul central al Oceanului Indian și zonele economice exclusive ale Insulelor Cook, Kiribati și Polinezia Franceză.

2. *Sulfuri polimetalițe* (numite uneori sulfuri masive de fundul mării) care sunt bogate în cupru, fier, zinc, argint și aur. Depozitele se găsesc la marginile plăcilor tectonice de-a lungul creștelor din zona mediană a oceanului și ale arcurilor vulcanice active, la adâncimi de apă de cca. 2.000 de

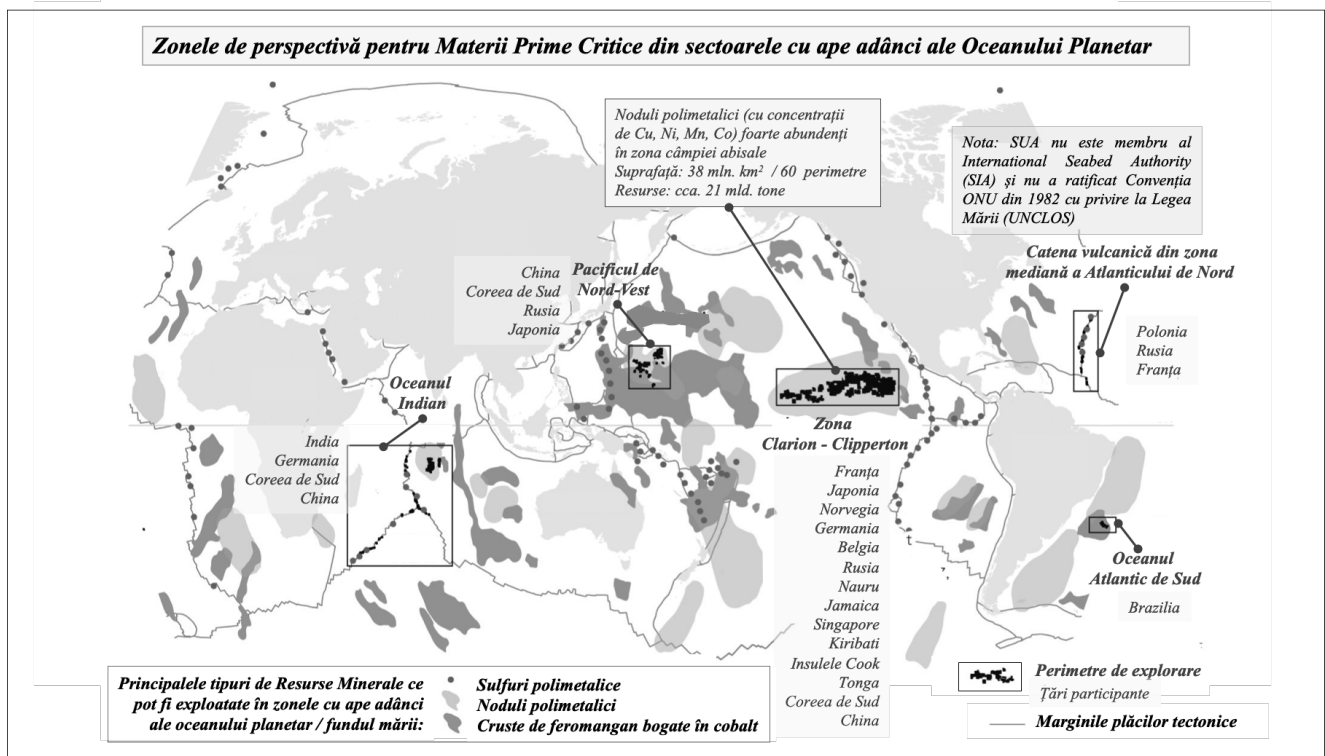


Fig. 20 – Gradul de concentrare geografică a activităților de extracție și prelucrare minieră pentru principalele materii prime critice (sursa datelor primare: IEA, 2023; IRENA, 2023, E&Y, 2024; Rystad Energy, 2024)

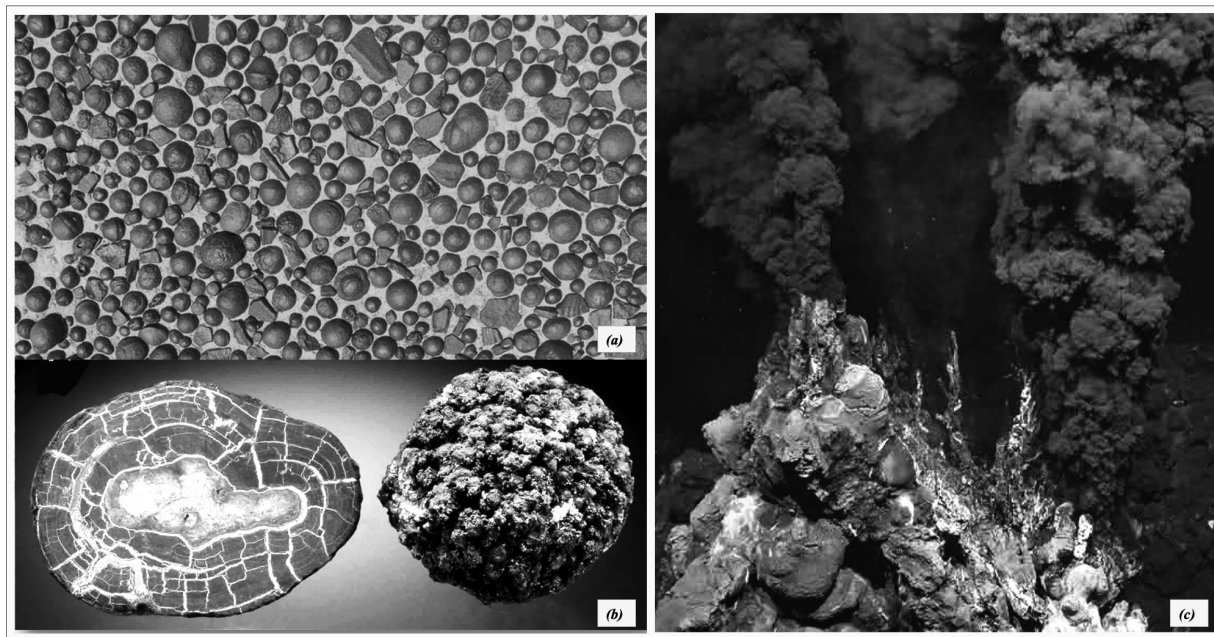


Fig. 21 – (a) Fotografie a fundului mării în zona din acvatoriul Insulei Johnston, prezentând o concentrație densă de noduli polimetaliici. (b) Secțiune transversală printr-un nodul cu diametru de cca. 12cm prezentând structura de creștere prin straturi concentrice în jurul unui nucleu, realizată prin precipitarea metalelor dizolvate în apa de mare, în intervale de timp de milioane de ani. (c) Sulfurile polimetaliice se depun prin precipitare în zonele în care soluțiile hidrotermale cu temperatură ridicată (care migrează ascendent pe sistemele de falii din profunzimea subsolului marin) ies la suprafața fundului mării și intră în contact cu apa rece de mare, bogată în oxigen. În timp, depunerile de sulfuri formează structuri asemănătoare coșurilor de fum (colaj de fotografii din publicațiile: US Geological Survey; British Geological Survey; World Ocean Review)

metri. Aceste depozite s-au format în perioade de mii de ani prin activitatea soluțiilor hidrotermale, din care au precipitat metalele la temperaturi de până la 400°C (Fig. 21).

3. Cruste de feromangan bogate în cobalt, care se acumulează la adâncimi de apă cuprinse între 400 și 7.000 de metri pe flancurile și crestele lanțurilor muntoase submarine (Fig. 22). Ele se formează prin precipitarea mineralelor din apa de mare și conțin fier, mangan, nichel, cobalt, cupru, precum și diverse metale rare, inclusiv unele elemente din grupa pământurilor rare. La nivel global, se estimează că ar putea exista până la 100.000 de creste muntoase submarine mai înalte de 1.000 de metri, deși numai relativ puține dintre acestea pot reprezenta locații adecvate pentru extracția crustei de cobalt. Arealul cu perspective mari pentru exploatarea crustelor de cobalt este situat în apropierea lanțului muntos submarin Magellan din Oceanul Pacific, la est de Japonia și Insulele Mariene.

Reglementarea activităților miniere din apele de mare adâncime

Anticipând că fundul mării ar putea deveni o sursă majoră de aprovizionare pentru satisfacerea nevoilor de minerale ale lumii, Adunarea Generală

a ONU a adoptat încă din 1970 Declarația de principii care guvernează fundul mării și oceanului precum și subsolul acestora pentru zonele situate dincolo de limitele jurisdicției naționale, și prin care a rezervat fundul mării exclusiv pentru utilizări pașnice. Adunarea a declarat, de asemenea, resursele minerale din aceste zone drept „moștenire comună a omenirii”, care urmează să fie dezvoltate în beneficiul omenirii, prin mecanisme și organizații internaționale care urmează să fie înființate în acest scop.

Exploatarea resurselor miniere din apele de mare adâncime este reglementată de Autoritatea Internațională pentru Fundul Mării³ (ISA) a cărei funcție principală este de a gestiona activitățile de explorare și exploatare a mineralelor offshore, în apele de mare adâncime, din „Zona”, care a fost definită prin Convenția ONU privind dreptul mării ca reprezentând „fundul mării și subsolul dincolo de limitele jurisdicției naționale”, adică dincolo de limita exterioară ale platformei continentale. Zona cuprinde puțin peste 50% din întregul fund al oceanului planetar. ISA are dreptul exclusiv de a emite contracte de explorare și exploatare pentru

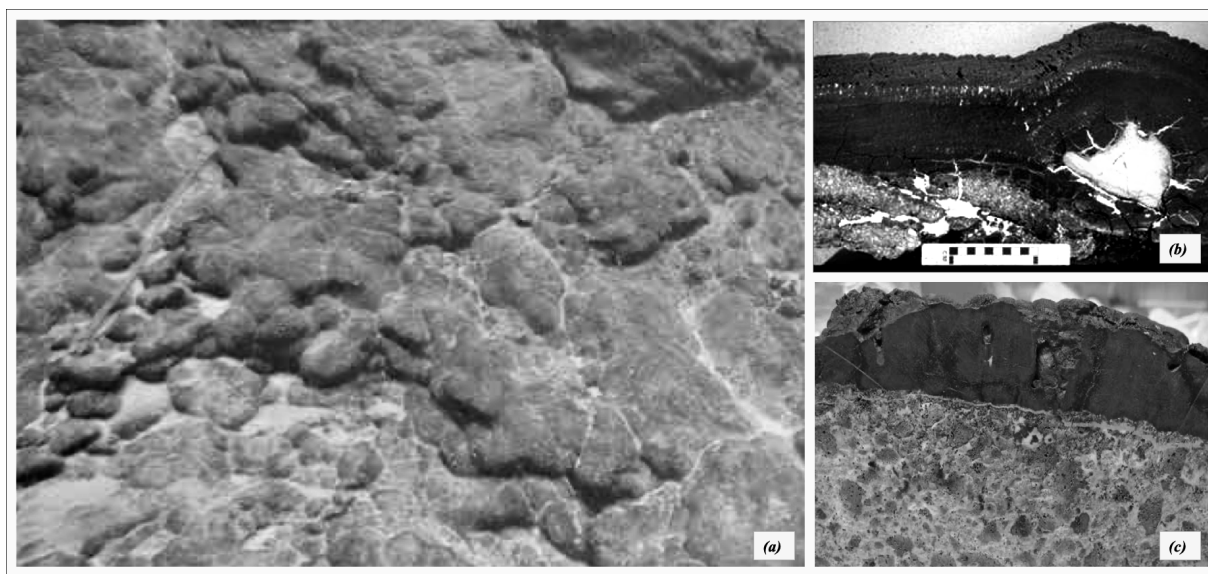


Fig. 22 – Cruste de feromangan bogate în cobalt: (a) Fotografie a fundului mării la cca 2000m adâncime, în zona centrală a Oceanului Pacific, prezentând o crustă de feromangan, cu extindere de cca. 4m x 3m. (b) Secțiune transversală printr-o crustă de cca. 12 cm grosime, din acvatoriul Insulei Johnston. (c) Secțiune transversală printr-o crustă de cca 10 cm grosime, provenită de la adâncimea de 1750m, în acvatoriul Insulelor Marshall, care a crescut pe roca vulcanică din substrat (colaj de fotografii din publicațiile: US Geological Survey; British Geological Survey; World Ocean Review)

resursele minerale din fundul mării internaționale și pentru a asigura protecția mediului marin de potențialul impact nociv al activităților miniere legate de fundul mării. ISA a elaborat deja documentația care reglementează activitățile de prospectare și explorare a mineralelor, iar în prezent își concentrează atenția asupra elaborării unui cod minier, cu un regim de reglementare mult mai cuprinzător, care să acopere activitățile de exploatare minieră la scară comercială a acestora resurse. Aceasta implică luarea în considerare a unei game de probleme tehnologice, financiare și de mediu. Deși vor exista variații tehnologice în echipamentul minier necesar pentru fiecare tip genetic de zăcămint mineral, conceptul de bază și metodologia de recuperare sunt similare. În fiecare caz, vehiculul colector va intra în contact cu fundul mării și va colecta substanțele minerale. În cazul sulfurilor polimetalice și a crustelor de cobalt, este necesară tăierea sau spargerea depozitelor minerale pentru a fi detașate de substrat. Nodulii pot fi recoltați direct de pe fundul mării. În toate cazurile, materialele exploatate, combinate cu apa de mare, vor fi aduse la suprafață printr-un sistem de ridicare și transportate la suprafața mării pe o navă de suport logistic cu instalații de separare a minereului de apa de mare și de încărcare a minereului util

pe navele de transport către fabricile de prelucrare amplasate pe uscat.

Aceste activități nu sunt lipsite de controverse. În timp ce unii susținători ai activităților miniere în domeniul offshore de adâncime susțin că acesta este mai ecologic decât mineritul onshore, alte voci susțin că operațiunile miniere offshore nu sunt durabile și ar putea provoca daune ireversibile asupra oceanului planetar. Activitățile miniere din apele de adâncime ridică îngrijorări cu privire la impactul asupra mediului, inclusiv distrugerea potențială a habitatului marin și eliberarea de substanțe chimice toxice. Ecosistemele de adâncime reprezintă o parte importantă a rețelilor trofice oceanice și sunt esențiale pentru configurația și reglarea climei globale. Acest lucru a determinat mai multe solicitări pentru un moratoriu asupra mineritului offshore de adâncime. În septembrie 2021, Uniunea Internațională a Congresului Mondial pentru Conservarea Naturii a adoptat o moțiune (Rezoluția IUCN 122) prin care se cere un moratoriu asupra mineritului de adâncime. Mai multe țări reunite în Coaliția pentru Conservarea Marii Adânci au cerut în 2022 un moratoriu, sau o pauză de precauție asupra exploatării miniere de adâncime în apele internaționale. Comisia Europeană, prin poziția exprimată în 2022 de

Direcția Generală Afaceri Maritime și Pescuit, consideră că exploatarea minieră offshore în ape de adâncime ar trebui să fie interzisă până când *„lacunele științifice sunt completate în mod corespunzător, nu apar efecte nocive din activitățile miniere și mediul marin este protejat de o manieră eficientă”*.

Conform prevederilor UNCLOS, explorarea și exploatarea mineralelor din Zona fundului mării pot fi efectuate numai în baza unui contract cu ISA și sub rezerva regulilor, reglementărilor și procedurilor acesteia. Contractele pot fi emise atât întreprinderilor miniere publice, cât și private, cu condiția ca acestea să fie sponsorizate de un stat parte la UNCLOS și să îndeplinească anumite standarde de capacitate tehnologică și financiară. În cele din urmă, avantajele economice ale exploatarea minieră de adâncime, cel mai probabil sub formă de redevențe plătite ISA, urmează să fie împărțite în *„beneficiul omenirii în ansamblu”*, cu un accent deosebit pe țările în curs de dezvoltare care nu dispun de tehnologie și mijloace financiare pentru a desfășura pe cont propriu activități de exploatare pe fundul mării.

Concluzii – Perspective privind rolul și provocările MPC

Pe măsură ce omenirea accelerează implementarea tehnologiilor climatice pentru energie curată în sprijinul tranziției energetice către obiectivul net-zero, există riscul ca aprovizionarea cu materii prime critice să nu poată menține ritmul de creștere necesar. Energia și materiile prime critice sunt puternic interconectate și de aceea, pentru a putea să își îndeplinească ambițiile climatice de atingere a obiectivului net-zero, omenirea va trebui ca în paralel cu tranziția energetică să se treacă și printr-o tranziție a materiilor prime critice.

Cerințele tranziției energetice sunt de așteptat să declanșeze o creștere masivă a cererii pentru unele materiale critice care nu au în prezent un lanț valoric matur, și care, în consecință vor cunoaște o expansiune masivă comparativ cu nivelurile actuale. În plus, se preconizează că extinderea rapidă a cererii în sectoarele de tranziție energetică va modifica fluxurile comerciale de materiale mature, care vor trebui redirecționate către noile lanțuri valorice de tranziție energetică. Această dezvoltare va crea atât provocări, cât și oportunități pentru

toate părțile implicate (e.g. organizațiile guvernamentale, instituțiile de reglementare și companiile active în calitate de furnizori și beneficiari) în diferitele verigi ale lanțului de aprovizionare, unde poziționarea corectă a fiecărui jucător devine crucială pentru reușita tranziției energetice.

Modul în care se va desfășura tranziția materiilor prime critice este influențat în principal de incertitudinile cu privire la dezvoltarea și implementarea tehnologiilor pentru energie curată, cum ar fi ritmul imprimat decarbonării, dezvoltarea politicilor comerciale, viteza inovației și timpul necesar pentru a introduce pe piață tehnologii inovatoare și durata de timp pentru obținerea avizelor de mediu și a permiselor de construcție pentru proiecte noi.

Ca un prim pas către atenuarea riscurilor și exploatarea vastelor oportunități prezentate de tranziția materiilor prime critice este esențial ca guvernele și companiile să mențină sau să-și consolideze înțelegerea cu privire la schimbarea dinamicii lanțului global de aprovizionare a materiilor prime critice cu o perspectivă pe termen lung, care să ajute la întărirea securității de aprovizionare și la protejarea competitivității pe termen lung a industriilor locale. Pentru a aborda dezechilibrul potențial în aprovizionarea cu materii prime critice și pentru a menține impulsul tranziției net-zero, pot fi întreprinse acțiuni concrete și concertate în patru domenii: ofertă, cerere, inovare și cadrul de reglementare (legal, fiscal și geopolitic).

O schimbare semnificativă în următorul deceniu a modelelor de cerere ale pieței, prin orientarea către tehnologii de energie curată deja mature care au dovedit că ar putea utiliza mai puține materii prime per produs și/sau diferite alte materiale pentru care aprovizionarea și/sau substituția este mai ușor de realizat.

Înțelegerea riscurilor potențiale din întregul lanț de aprovizionare cu minerale critice este un pas esențial pentru a spori gradul de pregătire împotriva unor posibile perturbări și pentru a elabora măsurile politice necesare. O abordare a *securității minerale* poate varia în funcție de contextul de piață și de expunerea la risc a fiecărui mineral, în fiecare verigă a lanțului de aprovizionare. Efectuarea unor evaluări structurate ale riscurilor poate ajuta factorii de decizie

politică să identifice vulnerabilitățile din lanțul de aprovizionare, să elaboreze măsuri de securitate adecvate și să direcționeze eforturile politice acolo unde sunt necesare.

În ultimul an, a devenit tot mai evidentă o realitate a tranziției energetice: angajamentele net-zero asumate deja pun o presiune extrem de mare asupra posibilităților actuale de configurare a lanțurilor de aprovizionare, a mecanismelor de piață, a modelelor de finanțare, a cadrului de reglementare și structurilor organizatorice care sunt necesare pentru a menține ritmul accelerat impus procesului global de decarbonare. Este evident că următorul deceniu va fi decisiv pentru succesul pe termen lung al decarbonării economiei. În timp ce fiecare sector din economia globală se confruntă cu presiuni comune – cum sunt solicitările părților interesate și ale investitorilor de a-și decarbona propriile operațiuni – companiile miniere extractive și de prelucrare sunt expuse în mod suplimentar la o provocare specială: aceea de a furniza materiile prime esențiale care susțin tranziția tehnologică a investițiilor în active pentru energie curată, și care la rândul lor sunt indispensabile pentru atingerea obiectivelor climatice fundamentale asumate prin tranziția energetică.

Sistemul energetic global se află în prezent în plină și continuă evoluție. De aceea, este nevoie ca toți factorii de decizie și toate părțile implicate în tranziția energetică să manifeste permanent o abordare sistemică, flexibilă și evolutivă a multiplexelor fațete ale securității energetice.

Bibliografie selectivă

1. Accenture (2023) – *Securing the Energy Transition Whitepaper*. Report for the World Economic Forum Davos Annual Meeting, 44 p.
2. Anastasiu, N., Morariu D.C. (2021) – *Schimbările climatice și tranziția energetică*. Editura Academiei Române, București, 287 p.
3. Anastasiu, N., Morariu, D.C., (2023) – *Dilema Trilemei Energetice*. „Academica”, vol. XXXIII, no. 390–391, Editura Academiei Române, București, pp 8–25.
4. Anastasiu, N., Morariu, D.C. (2024) – *Provocările globale ale tranziției energetice*. Buletinul informativ al Comisiei de resurse minerale pentru tranziția energetică, no. 1, Academia Română, București, pp 5–21.
5. Anastasiu, N., Morariu, D.C., Pătruți, A., Cârlea, F. (2024) – *România: Resursele naturale și Energia – Direcții strategice în contextul tranziției energetice*. Buletinul informativ al Comisiei de resurse minerale pentru tranziția energetică, no. 1, Academia Română, București, pp 22–41.
6. Aspen Institute (2023) – *A critical minerals policy for the United States: The Role of Congress in Scaling Domestic Supply and De-Risking Supply Chains*. Aspen Institute Energy and Environment Program, Washington DC, 41 p.
7. BGS (2021) – *Deep-sea mining evidence review*. British Geological Survey, National Oceanography Centre, Report CR/21/119, London, 463 p.
8. BGS (2023) – *Review and development of the methodology and data used to produce the UK criticality assessment of Technology-critical Minerals*. British Geological Survey, UK Critical Minerals Intelligence Centre, Report OR/23044, London, 93 p.
9. BloombergNEF (2024) – *New Energy Outlook 2024 – Executive Summary*. Bloomberg Finance LP Publications, London, 26 p.
10. Comisia Europeană (2023) – *Study on the critical raw materials for the EU – Final Report*. European Commission DG Grow, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 51 p.
11. Comisia Europeană (2023) – *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU A Foresight Study*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 98 p.
12. Constantinescu E., Anastasiu N., Jianu D., Mariș I. (2015) – *Resursele minerale ale României – Vol. I – Minerale industriale și roci utile*. Editura Academiei Române, București, 543 p.
13. Energy Institute (2024) – *Statistical Review of World Energy*. Energy Institute in collaboration with KPMG and Kearney - Energy Transition Institute, London, 76 p.
14. Ernst & Young (2024) – *Critical raw materials for the energy transition – how to achieve the targets*. Ernst & Young CESA Report, London, 66 p.
15. IEA (2023) – *Critical Minerals Market Review 2023*. International Energy Agency, Paris, 84 p.
16. IEA (2023) – *Sustainable and Responsible Critical Minerals Supply Chains – Guidance for Policy Makers*. International Energy Agency, Paris, 100 p.
17. IRENA (2021) – *Critical Materials for the Energy Transition*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 43 p.
18. IRENA (2023) – *Geopolitics of Energy Transition – Critical Minerals*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 10 p.
19. McKinsey (2022) – *The raw-materials challenge: how the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition*. McKinsey & Company, Metals and Mining Practice, Chicago, 10 p.
20. McKinsey (2023) – *The net-zero materials transition: Implications for global supply chains*. McKinsey Global Institute, Chicago, 24 p.
21. Ministerul Economiei (2024) – *Strategia Minieră pentru Resurse Minerale Neenergetice - orizont 2035*. București, 103 p.

22. Ministerul Energiei (2024) – *Strategia Energetică a României 2025-2035, cu perspectiva anului 2050 – Proiect*. București, 174 p.

23. Morariu, D.C., Anastasiu, N. (2022) – *Hidrogenul – Protagonist al Tranziției Energetice*. „Academica”, vol. XXXII, no. 377-378, Editura Academiei Române, București, pp 9-27.

24. OECD (2023) – *Raw materials critical for the green transition: Production, international trade and export restrictions*. OECD Trade Policy Paper no. 269, Paris, 91 p.

25. Rystad Energy (2024) – *Are we on track? Energy Transition Marathon*, Executive summary, London, 36 p.

26. S&P Global (2024) – *Supply Chain*. Look Forward Journal, vol. 5, February 2024, S&P Global Inc, New York, 54 p.

27. U.S. Department of Energy (2023) – *Critical Materials Assessment*. U.S. Department of Energy Publishing, Washington DC, 267 p.

28. WOR (2024) – *Energy and Resources from the Ocean*. The Ocean, Guarantor of Life – Sustainable Use, Effective Protection, World Ocean Review 7, Chapter 5, Maribus GmbH Publications, Hamburg, 23 p.

29. Wood Mackenzie (2024) – *Navigating the cross-commodity metals and mining landscape in 2024*. Wood Mackenzie Future Minerals Forum – Key Insights, Veritas Capital Publications, Edinburgh, 10 p.

Note

1. Deși în prezent nu există o definiție unică a **Materiilor Prime Critice (MPC)**, iar factorii care determină **criticitatea** depind de contextul specific al fiecărei națiuni, există totuși o unanimitate de opinii prin aceea că terminologia adoptată și utilizată pe plan internațional (**Critical Raw Materials**, sau abreviat, **CRM**) se referă exclusiv la materiile

prime sau resursele minerale neenergetice, care sunt considerate ca esențiale, strategice și/sau critice deoarece ele joacă un rol important pentru anumite sectoare economice, considerate ca prioritare în strategia țărilor respective (cum ar fi tehnologiile pentru energie curată, tehnologiile digitale, și cele din industria aerospațială și de apărare). Nu există o listă unică de MPC-uri, iar organismele guvernamentale din țările interesate și-au compilat propriile liste, identificând materialele critice pentru economiile lor. Criteriile luate în considerare cuprind, inter alia, dependența de importurile din anumite țări cu instabilitate politică și/sau economică, riscul de aprovizionare pe fondul penuriei sau a unor blocaje de natură tehnică, contractuală, sau de context geopolitic, complexitatea exploatării miniere și a prelucrării și/sau lipsa unor alternative viabile de substituție etc.

2. ANRMPSG gestionează resursele de petrol, resursele minerale și fondul geologic național, proprietate publică a statului, definite de Legea petrolului nr. 238/2004 și de Legea minelor nr. 85/2003. Printre atribuții se numără activitățile de elaborare și promovare de proiecte de acte normative, norme, instrucțiuni și proceduri, conform prevederilor legislației privind regimul juridic pentru licențele de exploatare, exploatarea și dezvoltarea rațională a rezervelor de resurse minerale și de petrol, în concordanță cu strategiile din domeniu și reducerea impactului asupra mediului înconjurător; identificarea de noi utilizări ale sistemelor publice naționale de transport al petrolului și punerea în valoare a golurilor miniere.

3. Autoritatea Internațională pentru Fundul Mării (International Seabed Authority, sau abreviat ISA) este un organism interguvernamental autonom în cadrul sistemului comun al Națiunilor Unite, care a fost înființat în anul 1994 cu sediul în Kingston, Jamaica. Toate statele părți la Convenția Națiunilor Unite privind dreptul mării (UNCLOS) din 1982 sunt membre ale Autorității, însumând 168 de membri, inclusiv Uniunea Europeană.