

## OPORTUNITĂȚI ȘI PERSPECTIVE DE IMPLEMENTARE A TEHNOLOGIEI SMR ÎN REPUBLICA MOLDOVA

Viorel ALBU

Departamentul Energetică, grupa EMD-22M, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,  
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Coordonator științific **Cristina EFREMOV**, dr., lect. univ., UTM

**Rezumat.** În prezentul articol sunt elucidate principalele avantaje ale tehnologiei Reactoarelor modulare mici (SMR) în raport cu reactoarele nucleare convenționale. Analiza este făcută prin prisma evaluării potențialului noii tehnologii de a servi drept soluție de perspectivă în contextul eforturilor depuse de comunitatea internațională în vederea asigurării tranziției energetice durabile și atingerea obiectivelor de neutralitate climatică. În acest context, sunt analizate și principalele premise care ar favoriza implementarea tehnologiei SMR în Republica Moldova. Aceste premise țin de posibilitatea de a diminua dependența de sursele de energie de import, asigurarea securității energetice a țării, decarbonarea economiei naționale, atingerea obiectivelor climatice, premise de ordin tehnic și economic. Totodată sunt examinate și principalele provocări care ar putea crea impedimente în calea implementării tehnologiei SMR în țara noastră, dar și posibile soluții. Sunt formulate concluzii și recomandări relevante privind pașii inițiali pe care factorii de decizie și actorii relevanți din Republica Moldova urmează să-i întreprindă pentru ca această tehnologie să fie implementată cu succes în țara noastră.

**Cuvinte cheie:** reactoare modulare mici, securitate energetică, tranziție energetică, neutralitate climatică.

### Introducere

Pe parcursul mai multor decenii, conceptul Reactoarelor modulare mici, deși cunoscut și descris amplu în studiile teoretice, nu a reușit să avanseze prea mult pe calea implementării practice și comerciale. Frâna majoră în calea dezvoltării comerciale a tehnologiei SMR a fost competitivitatea mult mai mare a reactoarelor convenționale. Însă progresul tehnologic recent, cererea tot mai mare de energie, în tandem cu provocările generate de schimbările climatice și cererea tot mai mare de securitate energetică, au determinat mai multe state să-și revadă abordarea în raport cu tehnologia SMR. Împreună cu acestea, criza energetică globală, provocată recent de războiul din Ucraina, a determinat statele lumii să-și revadă viziunile pe termen lung față de energia nucleară care după regretabilul accident nuclear de la Fukushima, din 2011, părea să fi căzut în dizgrație. În acest context, ideea dezvoltării și utilizării SMR-urilor la scară industrială devine tot mai justificată și argumentată. În prezent sunt dezvoltate peste 80 de proiecte SMR la scară globală, în 18 țări ale lumii, iar costul investițiilor alocate se ridică la sume de sute de miliarde dolari SUA.

### 1. Avantajele tehnologiei SMR:

Conform clasificării oferite de Agenția Internațională pentru Energie Atomică (IAEA), sunt considerate **SMR-uri** reactoarele nucleare avansate care au o capacitate de până la 300 MW(e), sunt produse în condiții de uzină care pot fi transportate ca unități modulare întregi și instalate la destinație [1]. Multiple avantaje în favoarea reactoarelor modulare mici pornesc de la dezavantajele cu care se confruntă reactoarele nucleare convenționale. În linii generale aceste avantaje se referă la următoarele aspecte:

- *Investiții financiare și de timp substanțial mai mici în comparație cu reactoarele convenționale*

Este cunoscut faptul că în cazul centralelor nucleare convenționale costul estimativ al investiției per fiecare KW depășește 5 mii dolari SUA [2]. Însă, în ultimele decenii, aceste costuri au fost mereu în creștere. Astfel construcția unei stații cu reactoare convenționale generează costuri de miliarde de dolari, sume care sunt o povară mare chiar și pentru statele prospere. Construcția unei stații nucleare durează cel puțin 5 ani de zile, însă perioada de implementare, ca și costurile de construcție, au tendința să crească. Aceste riscuri descurajează statele mici, cu potențial economic modest, sau cu un consum mic de energie, cum ar fi și cazul Republicii Moldova. Însă, în cazul reactoarelor modulare mici, aceste riscuri sunt minimizate, aproape proporțional dimensiunilor sale.

- *Grad de securitate mai mare*

La dezvoltarea SMR-urilor contemporane sunt aplicate tehnologii aferente generației III+ și IV. Reactoarele din aceste generații au un grad maximal de siguranță. În același timp, posibilitatea producerii în serie a SMR, în condiții de fabrică, plus construcția modulară integrată, oferă premise suplimentare pentru o siguranță tehnologică sporită.

- *Impact nociv mai redus asupra mediului*

Ca și în exemplul precedent, majoritatea proiectelor SMR dezvoltate curent se referă la cele mai performante tehnologii aferente generației III+ și IV. În ambele cazuri, cerințele față de protecția mediului sunt foarte mari și stricte. În favoarea acestui argument vine și recenta decizie a Parlamentului European care a votat, în noiembrie 2023, în favoarea includerii energiei nucleare generată de reactoarele modulare din generația IV, în categoria tehnologiilor verzi, capabile să contribuie substanțial la obținerea suveranității energetice a UE și atingerii obiectivelor comunitare privind neutralitatea climatică [3].

- *Flexibilitate mai mare sub aspectul amplasării mai aproape de consumatorii finali*

Spre deosebire de Centralele nucleare convenționale, Centralele bazate pe tehnologia SMR, având capacități mai reduse, și un grad de securitate mai avansat, pot fi amplasate în mod rațional, în preajma comunităților mai mici, izolate, cu un număr mai mic de utilizatori. Grație dimensiunilor mult mai mici, se micșorează considerabil și zona de securitate până la cea mai apropiată localitate [4], ceea ce, în cazul țărilor cu densitate mare a localităților reprezintă un factor important. Posibilitatea amplasării centralelor cu reactoare SMR mai aproape de localități, mai oferă și avantajul utilizării acestora în regim de cogenerare.

- *Flexibilitate la asigurarea mixtului energetic și a balanței energetice*

Grație caracterului modular, expandabil, gradului înalt de automatizare, dar și capacități de generare mai mici, Centralele nucleare bazate pe SMR pot fi mai ușor integrate în mixtul energetic al unei țări. Totodată Centralele cu reactoare SMR pot deveni un instrument eficient în asigurarea balanței energetice a statelor cu un consum moderat de energie electrică și a evita riscul supra producerii, atunci când curba consumului de energie electrică este minimală.

- *Autonomie de combustibil mult mai îndelungată*

Dacă în cazul reactoarelor convenționale reîncărcarea cu combustibil este necesară odată la 1-2 ani, în cazul SMR-ilor, grație caracterului său modular, performanței tehnologice și a tipologiei combustibilului utilizat, reîncărcarea poate fi realizată la intervale de timp mult mai mari, de 5, 7, 15 și chiar 30 de ani [2]. Acest fapt oferă o autonomie mai mare, cu impact pozitiv asupra fezabilității și a gradului de competitivitate economică a Centralelor nucleare bazate pe tehnologia SMR.

## **2. Premise pentru implementarea tehnologiei SMR în Republica Moldova**

În prezent, Republica Moldova se confruntă cu multiple provocări la adresa securității energetice. Aceste provocări sunt create de insuficiența propriilor capacități de generare a energiei electrice cu emisii reduse de gaze cu efect de seră (GES), dependența aproape totală de importul de hidrocarburi, vulnerabilitatea infrastructurii de transport a energiei electrice, lipsa unor capacități semnificative de stocare a resurselor energetice, cota modestă a surselor de energie regenerabile (SER) în mixtul energetic național. La acestea se adaugă necesitatea

decarbonării economiei naționale, sporirea cotei energiei electrice curate în mixtul energetic național, utilizarea la scară mai mare a cogenerării. Având în vedere provocările menționate, există mai multe premise pentru a examina tehnologia SMR ca o potențială soluție pentru țara noastră, în vederea depășirii vulnerabilităților existente și asigurării securității energetice.

- *Diminuarea dependenței de sursele de energie externe*

Republica Moldova importă până la 77,5% din resursele de energie primară. Actualmente doar circa 20% din energia electrică necesară este produsă pe malul drept al Nistrului [5]. Această cotă variază și crește pe perioada rece a anului, atunci când sunt puse în acțiune capacitățile de cogenerare la CET1, CET2 și CET Nord. În general, cota energiei electrice produse prin arderea hidrocarburilor este una dominantă, actualmente depășind 90%. Totuși aceste surse de generare nu pot fi considerate durabile, dat fiind dependența lor de hidrocarburile din import, precum și a impactului negativ pe care îl au asupra mediului. Dependența masivă de hidrocarburile din import implică și numeroase provocări la adresa securității energetice a țării.

Ponderea hidrocarburilor în mixtul energetic național ar putea fi diminuată prin instalarea unei Centrale nucleare tip SMR, cu o putere sumară de până la 300 MW(e). Această capacitate ar fi una optimă din punct de vedere tehnic și economic pentru a menține un mix energetic echilibrat, acoperind baza curbei de sarcină, circa 30% din consumul actual de vârf al țării de 1 GWh(e). În plus, o centrală pe baza reactoarelor SMR ar putea fi operată și în regim de cogenerare, în perioada rece a anului, la o capacitate de circa 900 MW(th). Această cantitate de energie depășește cu mult necesitățile de energie termică a or. Chișinău, în perioada sezonului de încălzire. Grație dimensiunilor mici ale Centralei SMR și drept urmare, a posibilității de fi amplasată mai aproape de zona urbană, această soluție este pe deplin fezabilă din punct de vedere tehnic. Surplusul de energie termică ar putea fi folosit pentru activități industriale, de perspectivă.

Implementarea unui asemenea proiect ar diminua considerabil importul de gaze naturale (GN). Conform datelor prezentate de ANRE, consumul mediu anual de GN pe perioada anilor 2020-2022, doar pe malul drept al Nistrului, a constituit 1,04 miliarde m<sup>3</sup>, din care circa 32,5% reprezintă consumul întreprinderilor din sectorul energetic [6]. Dacă vom lua în calcul și energia electrică produsă la CTE "Cuciurgan", din GN, cifra ar fi mult mai mare. Substituirea a 300 MWh(e) generați la arderea GN cu 300 MWh(e) generați prin fisiune nucleară, ar putea diminua cantitatea de gaze naturale importată cu circa 750 mil. m<sup>3</sup> anual.

- *Un aport semnificativ la decarbonarea economiei naționale*

În concordanță cu angajamentele asumate în plan internațional în domeniul energiei și climei, Republica Moldova și-a stabilit un obiectiv ambițios de reducere a GES cu 68,6%, până în anul 2030, față de anul de referință 1990, la nivelul de 9,10 Mt de CO<sub>2</sub> echivalent [5]. În perspectiva procesului de aderare la UE și atingerea obiectivului de neutralitate climatică către anul 2050, această țintă va fi dificil de realizat doar din contul SER și sporirii eficienței energetice. În acest context, diminuarea cotei de GN utilizat la producerea energiei electrice, prin substituirea acesteia cu producerea energiei electrice din surse nucleare, ar avea un impact benefic asupra decarbonării economiei naționale, diminuând emisiile de CO<sub>2</sub> cu circa 1,47 milioane tone anual. Această diminuare de GES ar fi o contribuție considerabilă la atingerea obiectivului climatic național.

- *O combinație tip "hibrid" cu sursele SER*

În pofida opiniei împărtășite de unele organizații ecologiste, conform cărora promovarea tehnologiei SMR ar sustrage atenția de la sursele disponibile care ar ajuta la dezvoltarea tehnologiilor SER, în realitate, energia nucleară nu substituie, dar vine să suplimenteze sursele de energie regenerabile, compensând vulnerabilitățile curente ale acestora. În literatura de specialitate, această abordare este cunoscută sub denumirea de „Sisteme energetice hibrid Nuclear-SER” [7].

Problema de bază a surselor SER este bine-cunoscută și constă în intermitența acestora. În lipsa unor capacități suficiente de stocare a energiei, nu sunt capabile să asigure o furnizare

constantă și prognozabilă. O soluție ar fi dezvoltarea capacităților de stocare prin construcția unor „Parcuri cu baterii de acumulare” (PBA). Însă costurile pentru construcția unor asemenea capacități sunt mari, comparabile cu cele ale unei Centrale SMR. Spre exemplu, soluția propusă de compania „Tesla”, în cadrul proiectului „Megapark” [8], la construcția unui PBA cu o capacitate de 734MWh (consum mediu zilnic în Republica Moldova) și o rezervă de furnizare a energiei electrice de 4 ore, ar costa circa \$1 miliard, iar costurile anuale de mentenanță ar constitui \$3,9 milioane. Însă și în acest caz, o asemenea soluție de stocare nu va fi durabilă, fără a fi alimentată periodic de o altă sursă de rezervă, cu generare constantă. O dovadă elocventă servește criza energetică din Comunitatea Europeană, în vara anului 2022 [9]. De asemenea, producerea și reciclarea periodică a bateriilor de acumulare, nu reprezintă o soluție fezabilă din punct de vedere ecologic.

- *Compatibilitatea cu infrastructura energetică existentă*

O premisă în favoarea Instalării unei Centrale SMR cu o putere de circa 300 MW(e), este generată și de caracteristicile tehnice ale infrastructurii energetice de transport din Republica Moldova, capabilă să facă față la o asemenea sarcină, fără ajustări radicale. Aici, facem referință la rețele electrice de tensiune înaltă care (cu excepția liniei de 400 kV Isaccea-Vulcănești-Chișinău), nu depășesc capacitatea de 330 kV. În cazul amplasării Centralei SMR în preajma CET-urilor existente din or. Chișinău, va fi posibil de utilizat infrastructura de transport existentă, atât cea electrică, iar în cazul cogenerării și cea de termoficare.

- *Premise de ordin economic*

Calcululele experților arată că SMR-urile ar fi accesibile economic și pentru țări mici, cu un PIB mai mic de 50 miliarde dolari SUA. Construcția unei Centrale SMR, cu puterea cumulativă de circa 300 MW(e), la un preț actual de 4500-5350 dolari SUA per 1kW(e) instalat [10], ar implica costuri care ar putea fi de 1,35 - 1,6 miliarde dolari SUA. Într-o perspectivă de lungă durată, o asemenea investiție ar putea fi asimilată chiar și de țări de talia Republicii Moldova, mai ales că producerea în serie a SMR, ar duce în perspectivă, la scăderea prețurilor. Având în vedere durata de exploatare mult mai îndelungată a centralelor nucleare, de circa 60 de ani, un asemenea proiect poate fi pe deplin fezabil din punct de vedere economic. Fiind operată la capacitate maximă, doar în regim de generare a energiei electrice, la prețurile de import actuale la energia electrică, economiile ar putea depăși circa 250 milioane dolari SUA anual.

În lipsa experienței, capacității de implementare și de gestionare a unor asemenea proiecte energetice complexe, Republica Moldova ar putea apela la diverse modele de Parteneriat Public Privat (PPP), cunoscute în practica internațională, cum ar fi: ”Build-Operate-Transfer” (BOT), „Design-Build-Operate-Transfer” (DBOT), „Build-Own-Operate-Transfer” (BOOT) etc. Aceste modele oferă numeroase avantaje economice care ar permite soluționarea problemei investiționale, implementarea mai rapidă a proiectului, gestionarea eficientă, transferul de experiență din exterior și dezvoltarea la nivel național a ramurii energetice nucleare.

### **3. Provocări în calea implementării tehnologiei SMR în Republica Moldova**

În mod evident, dezvoltarea și implementarea tehnologiei SMR se confruntă și cu unele provocări, cum ar fi: investiții inițiale mari, cadru de reglementare sofisticat, problema gestionării combustibilului nuclear uzat, reticența socială față de energia nucleară etc. Toate aceste provocări nu sunt de nedepășit și există soluții pentru fiecare.

Agencia Internațională pentru Energie Atomică (IAEA) oferă membrilor săi un suport complex și un instrument metodologic detaliat privind condițiile și pașii pe care fiecare stat trebuie să-i parcurgă pe calea inițierii și implementării unui program nuclear [11]. Republica Moldova, în calitate de membru, poate beneficia pe deplin de acest suport și depăși cu succes mai multe provocări în procesul de implementare a unui program nuclear național.

Problema acoperirii investițiilor inițiale ar putea fi realizată prin diverse modele PPP. La fel și cadrul de reglementare sofisticat ar putea fi mai ușor dezvoltat în baza aceluiași model de Parteneriat Public Privat. În cazul implementării modelelor PPP de implementare, operatorul

Centralei SMR vine cu o soluție complexă care include și serviciile de reciclare și depozitare a combustibilului nuclear uzat, în afara țării.

Însă, așa cum demonstrează exemplul altor state (Germania, Italia, Austria, Belgia), cea mai mare provocare în calea dezvoltării surselor nucleare de energie o reprezintă reticența societății. Trebuie să recunoaștem că în Republica Moldova, până la momentul actual, nu s-au efectuat cercetări sociale care ar putea să ne elucideze clar care este gradul de reticență față de energia nucleară. Însă suntem dispuși să presupunem că ea ar fi una considerabilă, având în vedere memoria colectivă a catastrofei de la Cernobâl din 1986. Această reticență, deși este o provocare semnificativă, poate fi depășită prin informarea obiectivă a societății privind avantajele social-economice și de securitate energetică pe care le-ar oferi țării noastre noua tehnologie SMR.

Pe lângă reticența socială, ar mai exista o provocare semnificativă și anume, absența unei viziuni strategice și a unui consens politic național, cu privire la necesitatea implementării unui program nuclear în Republica Moldova. O dovadă elocventă este și faptul că până în prezent, construcția centralelor termonucleare pe teritoriul țării, este interzisă prin lege [12].

### Concluzii

În prezent există suficiente premise pentru producerea și utilizarea Reactoarelor modulare mici, la scară globală. Alături de sursele regenerabile de energie, tehnologia SMR este capabilă să ofere reale soluții pentru o tranziție energetică robustă și atingerea obiectivelor climatice, fără a periclita stabilitatea și securitatea energetică a statelor.

Un specific definitoriu al SMR ține de faptul că noua tehnologie, spre deosebire de reactoarele convenționale, poate fi accesibilă nu doar pentru statele mari și prospere, dar și pentru țările mici, în curs de dezvoltare, cu un potențial economic modest, precum este și Republicii Moldova.

În actualul context geopolitic regional, vulnerabilitatea din punct de vedere energetic a Republicii Moldova, reprezintă o provocare majoră, eliminarea căreia nu mai poate fi amânată. O sursă locală de energie nucleară, bazată pe tehnologia SMR, ar fi o soluție reală, un pilon pe care ar putea să se sprijine în perspectivă, stabilitatea și securitatea energetică a țării.

O precondiție primordială pe calea implementării unui program nuclear ar fi existența unui consens politic pe subiectul dat. Acest consens joacă rolul de mecanism de declanșare a altor procese, strict necesare pentru implementarea cu succes a unui program nuclear național, iar absența consensului politic, face imposibilă realizarea acestui program.

Implementarea tehnologiei SMR în Republica Moldova nu este un obiectiv imediat ce urmează a fi realizat într-o perspectivă de 5-10 ani. Acest proiect complex ține de un orizont strategic mai îndepărtat. Însă pentru a fi realizat cu succes, sunt necesari pași concreți, chiar la etapa actuală. Primii pași ar fi: inițierea unor studii de fezabilitate, încurajarea cercetărilor în mediul academic, evaluarea prin sondaje a opiniei publice însoțite de campanii de informare și popularizare a tehnologiilor SMR. De asemenea, este important, deja la etapa actuală, să încorporăm în documentele strategice naționale, viziunea privind dezvoltarea tehnologiei SER, ca obiectiv pe termen mediu și îndelungat.

**Mulțumiri:** Aducem mulțumiri d-nei Cristina Efremov pentru ajutor și sprijin la scrierea acestei cercetări.

### Bibliografie:

- [1] International Atomic Energy Agency. [citat 12.03.2024]:  
<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>
- [2] GLASER Alexander, RAMANA M.V., AHMAD Ali, and SOCOLOW Robert. *Small Modular Reactors: A Window on Nuclear Energy*, Princeton University 2015, [citat

- 12.03.2024]. Disponibil:<https://acee.princeton.edu/wp-content/uploads/2015/06/Andlinger-Nuclear-Distillate.pdf>
- [3] Decizia Parlamentului European 023/0081(COD) din 21 noiembrie 2023, cu privire la aprobarea Regulamentului privind industria care contribuie la obiectivul zero emisii nete [citată 12.03.2024]. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023PC0161&qid=1710146265270>
- [4] Emergency Planning Zone for Small Modular Reactors-Regulatory Historu & Policy Considerations. [citată 10.03.2024]. Disponibil: <https://www.nrc.gov/docs/ML1817/ML18177A386.pdf>
- [5] Conceptul Strategiei Energetice a Republicii Moldova 2050. [citată 12.03.2024]. Disponibil: [https://midr.gov.md/files/shares/Concept\\_Strategia\\_Energetica\\_\\_act\\_\\_.pdf](https://midr.gov.md/files/shares/Concept_Strategia_Energetica__act__.pdf)
- [6] Raport privind activitatea ANRE 2022, p. 42. [citată 12.03.2024]. Disponibil: <https://anre.md/raport-de-activitate-3-10>
- [7] RUTH Mark F., ZINAMAN Owen R., ANTKOWIAK Mark. *Nuclear-renewable hybrid energy systems: Opportunities, interconnections, and needs* [online]. Science Direct, Energy Conversion and Management, Volume 78, February 2014, pp. 684-694. [citată 10.03.2024]. Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890413007516?via%3Dihub>
- [8] TESLA Megapark Project. Disponibil: <https://www.tesla.com/megapack>
- [9] ZENIEWSKI Peter, MOLNAR Gergely, HUGUES Paul. *Europe's energy crisis: What factors drove the record fall in natural gas demand in 2022?* IEA, [citată 12.03.2024]. Disponibil: <https://www.iea.org/commentaries/europe-s-energy-crisis-what-factors-drove-the-record-fall-in-natural-gas-demand-in-2022>
- [10] ANTHONY ASUEGA, BRADEN J. LIMB, JASON C. QUINN. *Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors*. Applied Energy, Volume 334, 2023. ISSN 0306-2619. [citată 14.03.2024]. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120669>
- [11] MILESTONES IN THE DEVELOPMENT OF A NATIONAL INFRASTRUCTURE FOR NUCLEAR POWER. International Atomic Energy Agency. Vienna 2015.
- [12] Legea Nr. 1515, din 16.06.1993, privind protecția mediului înconjurător [Capitolul VII: Protecția împotriva radiației ionizante]. Publicat : 01-10-1993 în Monitorul Parlamentului Nr. 10, art Nr: 283.