INFLUENȚA FACTORILOR FIZICI INTERNI ȘI EXTERNI ASUPRA RISCULUI EXPUNERII LA RADONUL REZIDENȚIAL ÎN CONDIȚIILE SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

THE INFLUENCE OF INTERNAL AND EXTERNAL PHYSICAL FACTORS ON THE RISK OF RESIDENTIAL RADON EXPOSURE UNDER CLIMATE CHANGE

CZU: [613.168:546.296]:551.583 **https://doi.org/10.59295/spd2024n.43**

Ala OVERCENCO,
ORCID: 0000-0002-6970-9216
e-mail: ala.overcenco@ansp.gov.md
e-mail: allaovercenco@gmail.com
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova
Liuba COREȚCHI,
ORCID: 0000-0001-5758-3831
e-mail: liuba.koretski@ansp.gov.md
e-mail: coretchiliuba@gmail.com
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The influence of internal and external physical factors on the risk of residential radon exposure under climate change. Climate change may intensify radon migration into homes, increasing health risks. Energy efficiency strategies may contribute to indoor radon accumulation, especially during winter and summer when homes are sealed to maintain thermal comfort balance. Studies from various regions of the world show that meteorological factors influence indoor radon concentration directly or indirectly. Collecting meteorological data simultaneously with indoor radon measurements and studying their relations is essential for understanding these interactions and developing strategies for prevention and adaptation of public health system to future climate. Based on international experience, the methodology for evaluating the influence of meteorological factors on the risk of exposure to radon in a regional aspect was developed.*

Keywords: climate change, energy efficiency, indoor radon, meteorological factors.

INTRODUCERE

Radonul (Rn) este un produs de descompunere a radiului (Ra), care este un membru al lanțului de descompunere a uraniului (U). Proprietățile fizice și chimice ale radonului, cum ar fi natura radioactivă a lui: incoloră, inodoră și fără gust, fac dificilă detectarea acestui gaz fără echipamente speciale [1]. Radonul se numără printre principalii contribuitori la radiațiile ionizante și a fost identificat ca un pericol pentru sănătatea omului. Este cea mai importantă sursă a dozei de radiație de fond (55%) primită de mediu [2] și se găsește în concentrații variabile de la locație la locație, și chiar de la sezon la sezon. În

mediile interioare, radonul se poate acumula și atinge concentrații foarte dăunătoare din cauza produselor de descompunere continue a radonului. Oamenii sunt expuși în principal la radon în casele lor și la locul de muncă. Gazul radon este a doua cauză de cancer bronhopulmonar (CBP) după fumat [3] și riscul apariției acestei maladii crește odată cu creșterea nivelului de radon în încăpere, când particulele radioactive ale gazului radon și descendenții săi ajung în plămâni, atașându-se de ei, provoacă leziuni ale ADN-ului tisular, ceea ce duce la dezvoltarea cancerului bronhopulmonar [4, 5]. Studiile epidemiologice au confirmat asocierea dintre radonul rezidențial și riscul de cancer bronhopulmonar, subliniind, că o creștere a concentrației de radon în interior cu 100 Bq/m^3 determină o creștere a riscului de cancer bronhopulmonar cu 16% [6,7].

Factorii externi sunt legați de localizarea clădirii și de condițiile climatice: geologie și litologie, regiune, altitudine deasupra nivelului mării, amplasarea pe un deal sau în pantă, diferența de presiune a aerului, temperatura exterioară și umiditatea atmosferică totală. Factorii interni sunt alcătuiți din tipul fundației, existența unui subsol, materialele de construcție și eficiența energetică a clădirii, etajul (distanța de la sol), sistemul de ventilație, dispozitivele de încălzire și sistemele energetice, reabilitarea energetică anterioară și interior, umiditatea relativă (Tab.1).

Tabelul 1. Factori corelați cu concentrația de radon în interior *(după* [8]*)*

Factori externi	***Factori interni***
Geologie și litologie	Tipul fundației
Regiune	Existența subsolului
Altitudine deasupra nivelului mării	Materiale de construcții și izolație termică
Amplasare pe un deal sau pantă	Nivel/etaj (distanța de la sol)
Diferența de presiune a aerului	Sisteme de ventilație
Temperatura exterioară	Sisteme de încălzire
Umiditatea atmosferică	Modernizare termică
Direcția vântului	Umiditatea relativă interioară

Potrivit proiecțiilor climatice, temperatura și umiditatea aerului se vor schimba, ceea ce ar putea duce cel mai probabil și la schimbarea impactului radonului asupra sănătății, pentru că parametrii meteo afectează concentrația de radon atât în interior, cât și în exterior. Dintre varietatea de factori fizici externi și interni, care influențează direct, indirect sau în combinație asupra concentrației de radon în interior, factorii meteorologici sunt cei mai sensibili la efectele schimbărilor climatice proiectate.

MATERIALE ȘI METODE

Studiul experienței internaționale privind impactul factorilor fizici interni și externi asupra concentrațiilor de radon rezidențial în condițiile schimbărilor climatice a fost efectuat utilizând rezultatele științifice a circa 60 de publicații, pe platforme cunoscute

de specialitate – Web of Science, Google Scholar, ResearchGate, Pubmed, etc. Pe baza rezultatelor unei căutări folosind cuvintele cheie în limba engleză *„radon", „meteorological factors", „climate change", „human health"*, a fost relevat un număr limitat de publicații științifice, care descriu metodologia și rezultatele evaluării impactului schimbărilor climatice asupra concentrațiilor de radon și indirect asupra sănătății umane. Toate publicațiile relevante temei de cercetare au fost păstrate în baza specifică de surse bibliografice *Mendeley Elsevier Ltd.* pentru analiza ulterioară. Au fost utilizate metode descriptive, analitice și de sinteză pentru a dezvolta o metodologie regională de cercetare în cadrul capacităților existente.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Baza de dovezi acumulată de comunitatea științifică până în prezent cu privire la impactul schimbărilor globale și regionale asupra diverselor sisteme și utilizarea unor modele mai cuprinzătoare de proiecții climatice, permite de a identifica riscurile mediate noi pentru sănătatea publică ca provocări noi pentru societate. Analiza publicațiilor științifice selectate a făcut posibilă sistematizarea principalelor direcții ale cercetării contemporane în acest domeniu – *(1)* emisii masive de radon din cauza topirii (dezghețării) permafrostului în condițiile climatului de încălzire, *(2)* etanșeitatea caselor/clădirilor pentru creșterea eficienței energetice pentru atenuarea schimbărilor climatice, precum și *(3)* dependența fluctuațiilor concentrației de radon în spațiile rezidențiale de factorii fizici interni și externi (factori meteorologici).

Topirea permafrostului cauzată de schimbările climatice va crește nivelul de radon din atmosferă, cu consecințe grave pentru sănătatea oamenilor și a animalelor din regiune. Aproximativ 3,3 milioane de oameni trăiesc pe permafrost, care se va topi complet până în a. 2050 [9]. O mare parte de populație din această regiune trăiește în zone predispuse la radon (Canada, Alaska, Groenlanda și Rusia), așa că atunci, când cantități mari de radon vor fi eliberate la dezghețarea permafrostului, acești oameni vor fi expuși unui risc crescut pentru efectele radonului asupra sănătății.

Eficiența energetică se face pentru a se asigura, că cantitatea minimă de energie este utilizată pentru încălzirea sau răcirea caselor, menținând în același timp confortul rezidenților. Introducerea tehnologiilor moderne, care reduc pierderile de căldură, este însoțită de o scădere a ratei de schimb a aerului, ceea ce duce la o deteriorare a calității aerului din interior, în special la acumularea radonului [10,11]. Radonul, care este omniprezent în aer și adesea concentrat în interiorul clădirilor, poate deveni mai concentrat în clădiri mai bine etanșe [12].

Parametrii meteorologici sunt factori importanți, care pot afecta schimbările sezoniere ale concentrațiilor de radon în mediile interioare [13]. În climatele nordice și temperate, concentrațiile de radon au fost raportate a fi cele mai mari în timpul iernii și cele mai scăzute în timpul verii, determinând astfel o sezonalitate a concentrației de radon. Efectul temperaturii aerului asupra fluxului de radon subteran a fost confirmat experimental, folosind un sistem special de laborator climatic controlat, care a putut

izola efectul modificărilor temperaturii ambientale asupra transportului subteran de radon [14]. S-a stabilit, că schimbările ciclice ale temperaturii mediului în experimente în condiții forțate se corelează direct cu fluctuațiile radonului subteran.

În contextul regional, în Republica Moldova la fel problema radonului rezidențial în legătură cu factorii interni și externi poate fi legată cu fluctuațiile condițiilor exterioare meteorologice în dependență de sezon fie prin modul de păstrare a echilibrului termic în clădiri (iarna – case „sigilate” de frig, vara – case „sigilate” din cauza caniculei), fie prin influența directă a parametrilor meteorologici asupra concentrațiilor radonului. În contextul schimbărilor climatice ca una dintre provocările globale, aceste relații pot fi, de asemenea, supuse schimbărilor, de aceea este deosebit de important să se elaboreze metode de evaluare a dependenței concentrației de radon rezidențial de factorii de mediu externi și interni la momentul actual, și legarea acestor dependențe cu proiecțiile schimbărilor climatice regionale. Dezvoltarea unor astfel de metode ar trebui să se bazeze pe utilizarea experienței internaționale, deși încă limitate în astfel de studii, pe disponibilitatea și compatibilitatea datelor regionale (măsurătorile concentrațiilor de radon, condiții meteorologice, proiecții climatice, indicatori de sănătate), precum și pe utilizarea instrumentelor analitice bazate pe metode statistice de evaluare adoptate în cercetări biomedicale și de mediu. Studiul relațiilor condițiilor externe meteo cu concentrația radonului rezidențial pe baza datelor existente și folosirea proiecțiilor regionale ale schimbărilor climatice pentru construirea modelelor pronosticate al impactului viitor, este necesar în scopul elaborării măsurilor de prevenire și adaptare a sistemului de sănătate publică la provocările climatice regionale.

Luând în considerare cele de mai sus și conectând caracteristicile efectelor directe și indirecte ale factorilor de risc externi și interni asupra concentrațiilor de radon într-un climat în schimbare, este posibil să se identifice un lanț de influențe ale acestora asupra rezultatului final – sănătatea umană (Figura 1). Pentru a evalua cantitativ și calitativ un astfel de impact în lanț al schimbărilor climatice la nivel regional, este nevoie de aceeași metodologie de cercetare „în lanț”.

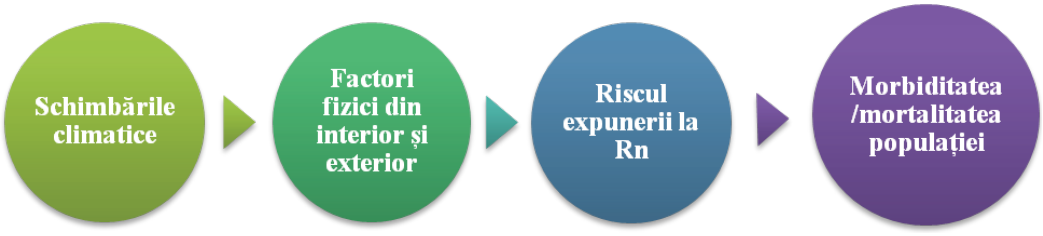


Figura 1. Lanțul de influență al schimbărilor climatice asupra expunerii sănătății umane la radon rezidențial

Inițial este necesar de a crea bazele de date (existente și accesibile) pe concentrația radonului, factori interni și externi, inclusiv condiții meteorologice, și indicatori de sănătate pentru formarea eșantionului necesar pentru studiu. Statisticile descriptive, inclusiv histograme de frecvență, abateri standard, estimări de distribuție, probabilitate, erori

etc. vor permite identificarea caracteristicilor seriilor de date pentru analiza ulterioară a impactului și riscurilor. Analiza factorială va ajuta la identificarea contribuției unuia sau mai multor factori la fenomenul studiat și, prin urmare, la determinarea gradului de variabilitate a fenomenului în funcție de modificările factorilor. Aici este necesar să se evalueze influența factorilor de mediu externi și interni asupra concentrațiilor de radon, influența concentrațiilor de radon asupra indicatorilor de sănătate publică, precum și influența schimbărilor climatice asupra fluctuației radonului rezidențial și, în consecință, asupra riscului pentru sănătatea umană.

CONCLUZII

1. În timp ce strategiile de eficiență energetică sunt esențiale pentru combaterea schimbărilor climatice, ele pot contribui și la creșterea concentrațiilor de radon în interiorul clădirilor. Acest lucru este accentuat de tendința de construire a clădirilor mai etanșe pentru a economisi energie, ceea ce necesită o atenție sporită asupra ventilației și controlului radonului.
2. În lumina schimbărilor climatice, societatea se confruntă cu dilema creșterii expunerii la radon ca urmare a eforturilor pentru eficiența energetică. În lipsa unor practici adecvate de control și reducere a expunerii la radon, potențialul de creștere a cancerului bronhopulmonar asociat radonului poate deveni o problemă majoră.
3. Concentrațiile ridicate de radon în interior sunt influențate de factorii meteorologici și este crucial să se colecteze datele meteorologice simultan cu măsurătorile radonului pentru o înțelegere mai profundă a acestor interacțiuni. În contextul schimbărilor climatice, se anticipează modificările temperaturii și umidității aerului, care pot afecta concentrațiile de radon și, implicit, impactul său asupra sănătății umane.

REFERINȚE

1. PANTELIĆ, G., ČELIKOVIĆ, I., ŽIVANOVIĆ, M., et al. Qualitative overview of indoor radon surveys in Europe. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019, Vol. 204, p.163–174. doi:10.1016/j.jenvrad.2019.04.010.
2. RAVIKUMAR, P., SOMASHEKAR, R.K. Estimates of the dose of radon and its progeny inhaled inside buildings. *European Journal of Environmental Sciences*. 2013, Vol. 3, Issue 2, p.88–95. doi:10.14712/23361964.2015.10.
3. ZEEB, H., SHANNOUN, F. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. 2009. 94 p. ISBN 978 92 4 154767 3
4. IARC. Codul European impotriva cancerului. 2016. https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/ro/12-modalitati/radiatii. Accessed February 18, 2021.
5. TIRMARCHE, M., HARRISON, J.D., LAURIER, D., et al. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Annals*

of the ICRP. 2010, Vol. 40, Issue 1, p.1–64. doi:10.1016/j.icrp.2011.08.011.
6. DARBY, S., HILL, D., DEO, H., et al. Residential radon and lung cancer--detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2006, Vol. 32 Suppl 1, p.1–83. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16538937.
7. KREWSKI, D., LUBIN, J.H., ZIELINSKI, J.M., et al. Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*. 2005, Vol. 16, Issue 2, p.137–45. doi:10.1097/01.ede.0000152522.80261.e3.
8. SILVA, J., LOPES, N., CURADO, A., et al. A pre-diagnosis model for radon potential evaluation in buildings: A tool for balancing ventilation, indoor air quality and energy efficiency. *Energy Reports*. 2022, Vol. 8, p.539–546. doi:10.1016/j.egyr.2022.02.100.
9. PUCHKOV, A. V., YAKOVLEV, E.Y., HASSON, N., et al. Radon Hazard In Permafrost Conditions: Current State Of Research. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*. 2021, Vol. 14, Issue 4, p.93–104. doi:10.24057/2071-9388-2021-037.
10. YARMOSHENKO, I. V., MALINOVSKY, G.P., ONISHCHENKO, A.D., et al. Problem of radon exposure in energy-efficient buildings: a review. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020, Vol. 12, Issue 4, p.56–65. doi:10.21514/1998-426X-2019-12-4-56-65.
11. DERBEZ, M., WYART, G., LE PONNER, E., et al. Indoor air quality in energy-efficient dwellings: Levels and sources of pollutants. *Indoor air*. 2018, Vol. 28, Issue 2, p.318–338. doi:10.1111/ina.12431.
12. WALLS K.L., BENKE G.P., KINGHAM S.P. Potential increased radon exposure due to greater building energy-efficiency for climate change mitigation. *Air Quality and Climate Change*. 2014, Vol. 48, Issue 1, pp.16–22. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.601649825561885.
13. AQUILINA, N., FENECH, S. The Influence of Meteorological Parameters on Indoor and Outdoor Radon Concentrations: A Preliminary Case Study. *Journal of Environmental Pollution and Control*. 2019, Vol. 2, Issue 1, p.107. https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/58247.
14. HAQUIN, G., ZAFRIR, H., ILZYCE,R D., et al. Effect of atmospheric temperature on underground radon: A laboratory experiment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2022, Vol. 253–254, p.106992. doi:10.1016/j.jenvrad.2022.106992.

NOTĂ. Cercetarea este susținută de Ministerul Sănătății și Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova în cadrul subprogramului *„Monitoringul expunerii la radiații ionizante a personalului expus profesional și publicului cu elaborarea măsurilor de radioprotecție”,* codul 130102, al Programului instituțional de cercetare (2024-2027).