

A general review on night ventilation systems used to reduce energy consumption in buildings

Recenzie generală a sistemelor de ventilare pe timp de noapte utilizate pentru reducerea consumului de energie în clădiri

Marius Adam¹, Adriana Tokar¹, Alexandru Dorca¹, Dănuț Tokar¹
Alexandru Filipovici¹

¹ Universitatea Politehnica Timișoara.

Piața Victoriei 2, Timișoara 300006

E-mail: marius.adam@upt.ro, adriana.tokar@upt.ro, alexandru.dorca@upt.ro, danut.tokar@upt.ro,
alexandru.filipovici@upt.ro

DOI: 10.37789/rjce.2025.16.3.6

Abstract. The night ventilation process is carried out in order to reduce the energy consumption required to cool the space during the day. This process proposes a sustainable approach to generate a comfortable indoor environment, with relatively low energy consumption. Following an extensive study documenting existing research in the field, the paper aims to describe the elements that influence night ventilation and the impact of these elements on energy efficiency and thermal comfort.

Key words: night ventilation, energy efficiency, thermal mass, air changes per hour, climate zones, thermal comfort

1. Introducere

Sistemele de ventilare de noapte au primit o atenție sporită în ultimii ani datorită potențialului lor de economisire a energiei și a protecției mediului atunci când sunt utilizate în răcire pasivă sau semi-pasivă, în loc de răcire activă [1]. Supraîncălzirea este o problemă în continuă creștere în clădiri, introduce sarcini mari de răcire în clădiri, ceea ce reprezintă o provocare serioasă în faza de proiectare și în timpul funcționării acestora [2].

Răcirea cu sisteme de ventilare pe timp de noapte a fost studiată pe larg, pentru diferite tipuri de clădiri și de condiții climatice [3], unul dintre primii cercetători în acest domeniu este Givovi, care a subliniat că răcirea masei structurale a unei clădiri pe timp de noapte se realizează prin convecție din interior. În ultimele decenii, un număr semnificativ de studii au demonstrat aplicarea ventilației nocturne în clădiri rezidențiale [4], supermarketuri [5], clădiri de biblioteci [6] și clădiri de birouri [7, 8].

La mijlocul anilor 1990, Kolokotroni are mai multe studii privind ventilarea nocturnă, în care face referire la regimul de neocupare a clădirilor pe timpul nopții [9],

prin urmare, nivelul de zgomot și curenții de aer nu influențează dimensionarea sistemelor de ventilare. Inerția termică a materialelor de construcție și masei termică au o influență ridicată asupra eficienței de răcire a ventilației nocturne.

Ultimele cercetări arată o preocupare tot mai mare pentru sistemele de ventilare de noapte în contextul creșterii temperaturilor medii de vară sub influența schimbărilor climatice [10; 11]. O creștere cu până la 275% a cererii de energie de răcire a clădirilor comerciale este prevăzută în 2050, comparativ cu utilizarea actuală [12].

Chiar dacă ventilarea mecanică pe timp de noapte ar putea duce la o economisire a energiei electrice de la sursa de răcire de până la 0,9 kWh/(m²•an) la clima actuală extremă, ar putea reduce nesemnificativ consumul total de energie electrică pentru răcirea spațiului (până la 2 %) pentru toate climatele viitoare anticipate [13].

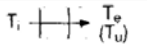
2. Elementele care influențează ventilarea de noapte

2.1 Coeficientul de convecție interior la transfer termic (CCITT)

Determinarea valorii lui CCITT este foarte importantă pentru evaluarea cu precizie a performanței sistemului de ventilare de noapte. În tabelul 1 sunt prezentate valorile CCITT, folosite la determinarea rezistenței termice a elementelor de construcție.

Tabel 1

Valorile coeficienților de convecție

Direcția și sensul fluxului termic	Elemente de construcții în contact cu:		Elemente de construcții în contact cu spații ventilate neîncălzite:	
	• exteriorul • pasaje deschise (ganguri) • rosturi deschise		• subsoluri și pivnițe • poduri • balcoane și logii închise • rosturi închise • alte încăperi	
	α_i/R_{si}	α_e/R_{se}	α_i/R_{si}	α_e/R_{se}
	8/0,125	24/0,042 [*]	8/0,125	12/0,084
	8/0,125	24/0,042 [*]	8/0,125	12/0,084
	6/0,167	24/0,042 [*]	6/0,167	12/0,084

Zhang și colaboratorii [14] au studiat o combinație de două sisteme diferite - un tavan difuz montat împreună cu un sistem radiant. Coeficienții de transfer termic măsurați în placă au fost de 2,5 și 7,7 W/m²K, în varianta cu și respectiv fără panourile de tavan instalate, ceea ce demonstrează că panourile care formează tavanul suspendat realizează o barieră de transfer termic, așa cum susțin alți autori [15].

Pentru determinarea CCITT în diferite regimuri de curgere a aerului [16] s-au realizat studii experimentale și corelații care au fost implementate în instrumente de software, cum ar fi Energy Plus [17].

Studiile experimentale anterioare au propus corelații CCITT adaptate pentru răcirea nocturnă cu ventilare difuză pe tavan (VNRD) și ventilare mixtă (VM). A fost propusă o metoda de simulare și optimizare a energiei clădirii pentru validarea corelațiilor determinate experimental. Rezultatele validării au demonstrat că, corelațiile propuse au prezis cu exactitate temperaturile de suprafață cu o eroare medie de 1,9°C. Pentru un birou dotat cu instalație de climatizare, răcirea nocturnă, cu VNRD, a economisit cu aproximativ 0,2 kWh/m² energie totală de răcire și a furnizat un procent mediu estimat de persoanelor nemulțumite în timpul orelor de lucru (un PPD) cu până la 3,1% mai scăzut față de cel cu sistem VM [18].

Fiind unul dintre cele mai fierbinți și mai umede orașe din China, Chongqing se confruntă cu o temperatură ușor diferită a aerului exterior și a aerului interior pe timp de noapte în timpul verii. Efectuând analize termice bazate pe relația de echilibru termic dintre transferul de căldură conductiv, transferul de căldură convectiv și transferul de căldură radiativ, valoarea medie globală a coeficientului de transfer de căldură convectiv la suprafața peretelui intern, în timpul ventilației nocturne, este de 10,79 W/m²K [19].

2.2 Numărul de schimburi orare sau debitul de aer ventilat

Studiile anterioare au arătat că un număr mai mare de schimburi de aer pe oră (n), de până la 10 [h⁻¹] sau mai mult, dacă este cazul, poate fi astfel utilizat pentru a mări eficiența ventilării nocturne, în special pentru clădirile neocupate noaptea [20]. Valoarea debitului depinde și de sistemul de ventilare ales. Pentru obținerea unui consum de energie redus cu 11,96 kWh/(m²*an), în cazul ventilării naturale nocturne s-au determinat 10 [h⁻¹] schimburi orare iar în cazul ventilării mecanice s-a determinat un număr mediu de 8 [h⁻¹] schimburi orare [21].

Pentru o clădire de tip bibliotecă, situată în Irlanda și care este supusă unui climat de tip maritim, creșterea numărului de schimburi orare pentru ventilarea de noapte până la 10 [h⁻¹], a avut un efect semnificativ asupra reducerii temperaturii uscate, dar creșterile suplimentare ale schimbărilor de aer au avut un efect neglijabil [3].

Alte studii au examinat o clădire situată în Franța, zona maritimă și au indicat că, pentru o sarcină de răcire de aproximativ 20 W/m², era posibilă o reducere de energie cu ventilare nocturnă de ordinul a 25%. Aceste economii au fost realizate la un debit de aer calculat la un număr de schimburi orare de 8-10 [h⁻¹] [22]. În acest caz s-a observat că ventilarea nocturnă a reușit să reducă temperaturile diurne ale aerului între 1,5°C și 2°C, cu o îmbunătățire a condițiilor de confort.

Pentru o clădire de tip rezidențial, situată în Algeria, care se află într-un climat mediteranean temperat, s-au realizat simulări dinamice, folosind software-ul TRNSYS pentru a studia impactul strategiilor de răcire pasivă cu ajutorul ventilării naturale de noapte și s-a determinat că pentru un număr de schimburi orare de 8 [h⁻¹], se reduce consumul de energie de răcire cu aproximativ 10 kWh/(m²*an) [4].

Pentru clădiri de birouri din normativul I5/2022, în anexa 7, sunt prezentate valorile recomandate pentru numărului de schimburi orare de aer, între 4 [h⁻¹] și 8 [h⁻¹].

^{1]}, pentru evaluarea valorilor propuse pentru debitul total de climatizare. O mărire a debitului de aer pentru ventilarea de noapte de la 5 [h⁻¹] la 15 [h⁻¹] schimburi orare, în cazul clădirilor de birouri aduce o scădere a sarcinii termice de răcire cu 5% [23].

2.3 Capacitatea termică a clădirii

Capacitatea termică este capacitatea unui material de a absorbi, stoca și elibera căldură. Întârzierea termică este viteza cu care un material eliberează căldura stocată. Pentru cele mai comune materiale de construcție, cu cât masa termică este mai mare, cu atât decalajul termic este mai mare.

Comparativ cu o bază de referință a clădirii existente, s-a constatat că, creșterea masei clădirii realizează o reducere a temperaturilor interne între 2°C și 3°C, atunci când masa a crescut de la 800 kg/m² la 1600 kg/m² [3]. Studii ulterioare au arătat că ventilarea pe timp de noapte a generat o putere de răcire între 12 kWh/(m²*an) și 16 kWh/(m²*an), în timp ce pentru o clădirea mai ușoară a rezultat o valoare mult mai mică, între 2-4 kWh/(m²*an).

S-a determinat că pentru clădiri cu o capacitate termică medie, folosind ventilarea naturală de noapte, se poate reduce necesarul anual de răcire cu până la 3,0 kWh/(m²*an) [24].

Tot în această direcție, ca o alternativă sau completare la materialele de construcție clasice, au apărut materiale cu schimbare de fază care asigură o eficiență ridicată pentru sistemele de ventilare de noapte. S-a constatat, în cazul unei clădiri rezidențiale, la care s-au folosit materiale cu schimbare de fază și ventilare naturală de noapte, temperatura aerului interior s-a redus cu 1,1°C și numărul orelor de disconfort termic au scăzut cu 34% [25].

Utilizarea sistemelor de ventilare de noapte este de multe ori asociată cu utilizarea materialelor cu schimbare de fază [26, 27], noțiunea de acoperiș verde [28] și alte strategii de energie regenerabilă.

2.4 Condițiile climatice

Pentru a cuantifica posibilitatea de răcire a clădirilor prin ventilare de noapte în diferite condiții climatice a fost determinat un indice al potențialului de răcire climatică, care se bazează pe diferența de temperatură dintre structura clădirii și aerul exterior în grade-ore [29,30]. Rezultatele arată un potențial de răcire nocturnă foarte ridicat pentru întreaga Europă de Nord și China de Nord și un potențial relativ semnificativ în Europa Centrală.

Luând în considerare cerințele anuale de răcire pentru o clădire de birouri din Regatul Unit, Kolokotroni [31] afirmă că energia de răcire realizată de ventilarea nocturnă este capabilă să furnizeze până la 20 kWh/m² de răcire pe an, în timp ce energia necesară pentru climatizarea unei clădiri de birouri standard din Regatul Unit este de aproximativ 30 kWh/m² pe an [32].

Într-un studiu realizat în Belgia [33], pentru climă moderată, pentru clădirile comerciale sarcină de răcire variază de la 30 W/m² la 100 W/m². În funcție de

proiectarea clădirii, ventilarea pe timp de noapte este capabilă să asigure o sarcină de răcire $10\text{--}40\text{ W/m}^2$. Această concluzie este întărită de condițiile climatice belgiene, unde se înregistrează o temperatură medie anuală de $9,7^\circ\text{C}$, respectiv valoarea medie a valorile maxime înregistrate vara de $21,8^\circ\text{C}$ [34].

Pentru condițiile climatice din Franța, cercetările asupra sistemelor de ventilare de noapte atât prin metode experimentale, cât și prin metode numerice, au concluzionat o reducere a temperaturii diurne a aerului interior de $1,5^\circ\text{C}$ - 2°C , ceea ce determină un consum energetic redus [7].

Condițiile climatice din zona de nord a Chinei favorizează utilizarea ventilării de noapte care contribuie la reducerea consumului anual de energie electrică pentru răcirea spațiului cu $1,15\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{an})$ într-o clădire de birouri. Cu un număr de schimburi orare de $10\text{ [h}^{-1}\text{]}$, temperatura medie radiantă a suprafeței interioare a scăzut cu până la $3,9^\circ\text{C}$ [23].

Pentru orașul Beijing, sistemele de ventilare naturală de noapte funcționează mai bine pentru o temperatură minimă sub 22°C , în timpul nopții, dar cu un risc ridicat de apariție a condensului. Pentru Shanghai, răcirea pasivă cu ajutorul sistemelor de ventilare de noapte nu poate fi considerată de succes [35].

3. Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Lucrarea își propune efectuarea unei analize și sinteze documentare privind evoluția utilizării sistemelor de ventilare de noapte, descrierea elementelor principale care influențează eficiența ventilării și impactul acestora asupra consumului de energie electrică pentru răcirea clădirilor.

Valoarea maximă a coeficientul de convecție interior la transfer termic este de $10,79\text{ W/m}^2\text{K}$ și influențează într-o mică măsură consumul de energie pentru răcire, respectiv o economie de aproximativ $0,2\text{ kWh/m}^2$.

Numărul de schimburi orare are o implicație majoră asupra reducerii consumului de energie pentru răcire, astfel se pot obține valori mai reduce cu până la $11,96\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{an})$, în cazul ventilării naturale nocturne, cu un număr de schimburi orare de $10\text{ [h}^{-1}\text{]}$. Rezultate mai bune se înregistrează atunci când tariful orar al energiei electrice variază zi/noapte și se aplică ventilarea mecanică nocturnă, aceasta asigurând un număr mai mare de schimburi orare, până la $15\text{ [h}^{-1}\text{]}$.

Capacitatea termică a clădirii poate influența consumul de energie electrică pentru răcire cu până la $3\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{an})$. Această influență se poate mări prin utilizarea materialelor cu schimbare de fază.

Cea mai importantă influență asupra sistemelor de ventilare de noapte o are zona climatică care poate realiza o energie pentru răcire de până la 20 kWh/m^2 pe an, în zona de nord a Europei.

În consecință, analizând toate elementele care influențează ventilarea de noapte și toate aspectele pozitive care rezultă din utilizarea acestor sisteme, ne propunem pe viitor, să cercetăm teoretic, experimental și pe baza simulărilor dinamice, un astfel de sistem pentru o clădire de învățământ superior din Timișoara.

Referințe

- [1] Miguel Lança a, Pedro J. Coelho a, João Viegas, Numerical simulation of a night cooling strategy in an office room, *Energy & Buildings* 252 (2021) 111359
- [2] M. Kolokotroni, P. Heiselberg, Ventilative Cooling: State-Of-The-Art Review, Aalborg Univ. Aalborg, Denmark, 2015. <https://www.buildup.eu/en/node/52462>.
- [3] Donal P. Finn a, Darragh Connolly b, Paul Kenny, Sensitivity analysis of a maritime located night ventilated library building, *Solar Energy* 81 (2007) 697–710
- [4] K. Imessad, L. Derradji, N.A. Messaoudene, F. Mokhtari, A. Chenak, R. Kharchi, Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate, *Renew. Energy* 71 (2014) 589e597, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.005>.
- [5] W. Li-xia, Z. Jia-ning, W. Zhao-jun, Night ventilation and active cooling coupled operation for large supermarkets in cold climates, *Energy Build.* 38 (2006) 1409e1416, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.02.011>.
- [6] K. Goethals, H. Breesch, A. Janssens, Sensitivity analysis of predicted night cooling performance to internal convective heat transfer modelling, *Energy Build.* 43 (2011) 2429e2441, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.033>.
- [7] P. Blondeau, M. Sp_erandio, F. Allard, Night ventilation for building cooling in summer, *Sol. Energy* 61 (1997) 327e335, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(97\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(97)00076-5).
- [8] G. Young, K. Steemers, Night-time naturally ventilated offices: statistical simulations of window-use patterns from field monitoring, *Sol. Energy* 84 (2010) 1216e1231, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.03.029>.
- [9] M. Kolokotroni, Annex 28: Low Energy Cooling - Night Ventilation in Commercial Buildings, 1995.
- [10] Sun, H., Kaiser, J., Jimenez-bescos, C., 2022. Examining the regulating impact of thermal mass on overheating, and the role of night ventilation, within different climates and future scenarios across China. *Clean. Eng. Technol.* 9 (January), 100534. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100534>.
- [11] Machard, A., Inard, C., Alessandrini, J.M., Pel'e, C., Rib'eron, J., 2020. A methodology for assembling futureweather files including heatwaves for building thermal simulations from the European coordinated regional downscaling experiment (EURO-CORDEX) climate data. *Energies* 13 (13), 1–36. <https://doi.org/10.3390/en13133424>.
- [12] Santamouris, M., 2016. Cooling the buildings – past, present and future. *Energy Build.* 128, 617–638. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.034>.
- [13] Hossein Bakhtiari, Sana Sayadi, Jan Akander, Abolfazl Hayati, Mathias Cehlin, A framework for assessing the current and future capability of mechanical night ventilation in the context of climate change, *Energy Reports* 12 (2024) 4909–4925,
- [14] C. Zhang, P.K. Heiselberg, Q. Chen, M. Pomianowski, Numerical analysis of diffuse ceiling ventilation and its integration with a radiant ceiling system, *Build. Simul.* 10 (2) (2017) 203–218.
- [15] L.M. Domínguez, O.B. Kazanci, N. Rage, B.W. Olesen, Experimental and numerical study of the effects of acoustic sound absorbers on the cooling performance of thermally active building systems, *Build. Environ.* 116 (2017) 108–120.
- [16] L. Peeters, I. Beausoleil-Morrison, A. Novoselac, Internal convective heat transfer modeling: critical review and discussion of experimentally derived correlations, *Energy Build.* 43 (2011) 2227e2239, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.002>.
- [17] U.S. Department of Energy, EnergyPlus 9.3 engineering reference. <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-3/engineering-reference/>, 2020.

- [18] Rui Guo *, Yue Hu, Per Heiselberg, Hicham Johra, Chen Zhang, Pei Peng, Simulation and optimization of night cooling with diffuse ceiling ventilation and mixing ventilation in a cold climate, *Renewable Energy* 179 (2021,) 488 – 501.
- [19] W. Ji, Q. Luo, Z. Zhang, H. Wang, T. Du, P.K. Heiselberg, Investigation on thermal performance of the wall-mounted attached ventilation for night cooling under hot summer conditions, *Build. Environ.* 146 (2018) 268e279, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.002>.
- [20] A. O'Donovan, A. Belleri, F. Flourentzou, G.-Q. Zhang, G.C. da Graca, H. Breesch, M. Justo-Alonso, M. Kolokotroni, M.Z. Pomianowski, P. O'Sullivan, Others, Ventilative Cooling Design Guide, Aalborg University, Department of Civil Engineering, 2018. <https://venticool.eu/wp-content/uploads/2016/11/VC-Design-Guide-EBC-Annex-62-March-2018.pdf>.
- [21] Li, X.X., Huang, K.L., Feng, G.H., Li, W.Y., Wei, J.X., 2022. Night ventilation scheme optimization for an Ultra-low energy consumption building in Shenyang, China. *Energy Rep.* 8, 8426–8436. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.059>.
- [22] Blondeau, P., Sperandio, M., Allard, F., 1997. Night ventilation for building cooling in summer. *Solar Energy* 61 (5), 327–335.
- [23] Wang, Z., Yi, L., Gao, F., 2009. Night ventilation control strategies in office buildings. *Sol. Energy* 83 (10), 1902–1913. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.07.003>.
- [24] Brambilla, A., Bonvin, J., Flourentzou, F., Jusselme, T., 2018. Life cycle efficiency ratio: a new performance indicator for a life cycle driven approach to evaluate the potential of ventilative cooling and thermal inertia. *Energy Build.* 163, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.010>.
- [25] Jamil, H., Alam, M., Sanjayan, J., Wilson, J., 2016. Investigation of PCM as retrofitting option to enhance occupant thermal comfort in a modern residential building. *Energy Build.* 133, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.064>.
- [26] C. Stetiu, H.E. Feustel, Phase-Change Wallboard and Mechanical Night Ventilation in Commercial Buildings, Lawrence Berkeley Natl. Lab., 1998, pp. 1e14.
- [27] X. Chen, Q. Zhang, Z. John, X. Ma, Potential of ventilation systems with thermal energy storage using PCMs applied to air-conditioned buildings, *Renew. Energy* 138 (2019) 39e53, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.026>.
- [28] J. Ran, M. Tang, Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions, *Sustain. Cities Soc.* 38 (2018) 466e475, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.027>.
- [29] Y. Liu, Climatic Analysis and Architectural Design Strategies for Bio-Climatic Design (In Chinese), Xi'an University of Architecture and Technology, 2003.
- [30] N. Artmann, Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe, *Appl. Energy* 84 (2007) 187e201, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.05.004>.
- [31] Kolokotroni, M., Webb, B.C., Hayes, S.D., 1998. Summer cooling with night ventilation for office buildings in moderate climates. *Energy and Buildings* 27, 231–237.
- [32] CIBSE, 2000. Chartered Institute of Building Services Engineers, Guide H, CIBSE.
- [33] Gratia, E., Bruyere, I., DeHerde, A., 2004. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and Environment* 39, 1157–1170.
- [34] Breesch, H., Brossaer, A., Janssens, A., 2005. Passive cooling in a lowenergy office building. *Solar Energy* 79, 682–696.
- [35] G. Carrilho da Graça, Q. Chen, L.R. Glicksman, L.K. Norford, Simulation of winddriven ventilative cooling systems for an apartment building in Beijing and Shanghai, *Energy Build.* 34 (1) (2002) 1–11.