

УДК 697.9

аспірант **Валерій Савін**,
savinvv@knu.edu.ua, ORCID: 0009-0008-6013-7371,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна
д.т.н., проф. **Василь Желих**,
Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-5063-5077,
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВЛОВЛЮВАЧІВ У СИСТЕМАХ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

***Анотація.** Природна вентиляція відіграє важливу роль у забезпеченні комфортних умов життєдіяльності. Вітровловлювачі є частиною цього процесу і можуть забезпечити необхідну швидкість вентиляції будівель. Значний вплив на продуктивність вітровловлювачів залежить від відповідних параметрів, таких як висота, конфігурація, форма поперечного перерізу, кількості вхідних отворів, швидкості руху та змінності напрямку руху повітря. Потенціал застосування вітровловлювачів у сучасній архітектурі та містобудуванні проявляється у використанні вітровловлювачів у сучасних будівлях, нових конструкціях і нових технологіях секцій вітровловлювачів як у міському контексті, так і поза ним. Розуміння цих параметрів допоможе при виборі потрібного типу вітровловлювача. В статті представлені результати аналізу наукових праць стосовно останніх досягнень в галузі енергоефективної вентиляції із застосуванням вітровловлювачів.*

Ключові слова: вітровловлювач, природна вентиляція, пасивне охолодження, енергоефективність.

Вступ. Найважливішим викликом сьогодення є глобальне потепління, яке вважається одним з важливих викликів сьогодення через потенційний діапазон і серйозність впливу на громади, природу та навколишнє середовище. Викиди парникових газів, особливо викиди CO₂, що виникають внаслідок споживання викопного палива в будівлях, ще більше посилюють тенденцію до глобального потепління. Будівельний сектор, на який припадає 40% світового споживання енергії та викидів парникових газів, відіграє ключову роль у цій загрозі [1]. У зв'язку з цим не можна ігнорувати вплив систем охолодження, на які разом з системами вентиляції та опалення припадає 60% енергії, що споживається в будівлях. Обладнання системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря не тільки відповідають за найбільшу частину усього споживання енергії всередині будівлі, а й за більшість проблем з якістю повітря в приміщеннях. Вентилятори, повітроводи та брудні фільтри є відповідним місцем для зростання грибків і плісняви, що виробляються органічним пилом, які

забруднюють циркулююче повітря та спричиняють значні проблеми забруднення. Це може бути більш критичним, враховуючи, що майже 90 % нашого часу ми проводимо в закритих приміщеннях під час життя та роботи. Таким чином, удосконалення систем вентиляції та кондиціонування відіграють важливу роль у підвищенні енергоефективності в будівлях, у забезпеченні кращого клімату в приміщенні для мешканців та, як наслідок, зменшенні ймовірності проблем зі здоров'ям [2].

Актуальність дослідження. Процес охолодження відіграє важливу роль у створенні комфортних умов для людини. Одним із найвідоміших елементів пасивної системи охолодження будівель без або з мінімальним споживанням енергії є вітровловлювач. На ефективність вітровловлювачів впливають сила вітру та сила плавучості, а знання розміру, форми та положення вихідного отвору [3] допоможуть зрозуміти нові ідеї і технології щодо їх застосування в сучасній архітектурі.

Останні дослідження та публікації. Використання систем природної вентиляції для повної вентиляції будівлі було серйозно аргументовано [4]. Можна використовувати природні рушійні сили, такі як напрямок і швидкість вітру, для забезпечення необхідної кількості свіжого повітря для мешканців [5]. Добре відомим прикладом природної вентиляції, який покращує якість у приміщенні за рахунок зниження концентрації забруднення та вологості повітря шляхом заміни затхлого повітря свіжим зовнішнім, є вітровловлювач (або вітряна вежа). Перший вітровловлювач був виявлений під час археологічних робіт у 1970-х роках поблизу Шахруда, Іран. Вітровловлювачі були як декоративними, так і функціональними елементами. Найбільш яскравими прикладом є вітровловлювач в саду Доулат Абад (рис. 1 а), в мечеті Амірчакмак та історичному місті Альзубайр (рис. 1 б). Зараз вітровловлювачі широко використовуються в світі маючи переваги в густонаселених міських районах і в районах з низькою швидкістю вітру, суттєво впливають на зниження охолоджувальних навантажень та забезпечують необхідну швидкість вентиляції будівель.

Автори [7] та [8] вважають, що сучасний вітровловлювач це екологічно чиста та стійка система, яка спрямована на боротьбу з енергетичною кризою, одночасно покращуючи якість повітря та теплового комфорту всередині будівель, і яка гармонійно вписується в нову архітектуру та стає більш керованою. Також авторами було підтверджено, що іншими перевагами вітровловлювача є низька вартість обслуговування через відсутність рухомих частин, використання екологічно чистих рухомих частин, використання чистого і свіжого повітря на рівні даху в порівнянні з низько розташованими вікнами, а також зменшення викидів парникових газів та забруднення повітря.

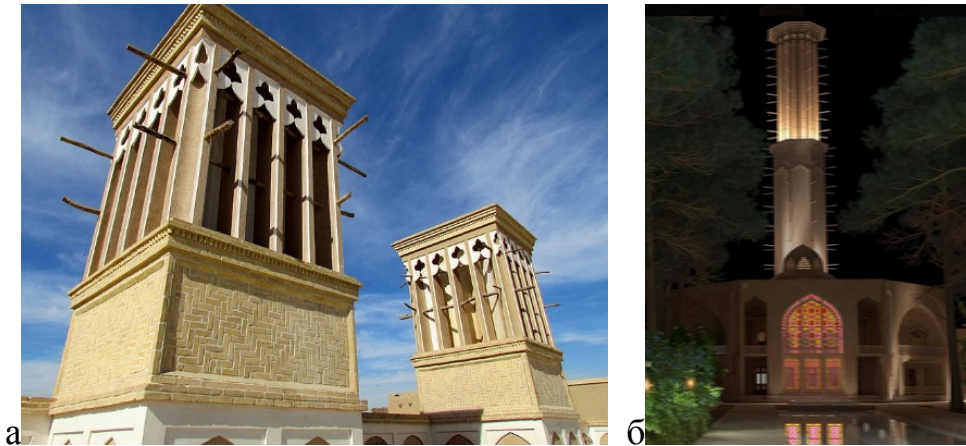


Рис. 1. Історичні вітровловлювачі:
а – у саду Доулат Абад; б – у м. Альзубайр

Іншими цікавими дослідженнями є наукові праці [9] та [10], які показують, що вітровловлювач є найважливішим атрибутом, який найбільше сприяє природній вентиляції в приміщенні. Розміри вітровловлювача також відіграють важливу роль в підвищенні ефективності природної вентиляції, особливо вітровловлювач із жалюзі.

Ще однією науковою працею, яка викликає інтерес є [11], де автор доводить, що в умовах щільної міської забудови ефективність вікон низька, і вітровловлювачі можуть бути ефективною заміною для забезпечення необхідної інтенсивності вентиляції. Було досліджено триповерховий будинок з недостатньою природною вентиляцією. Результати цієї роботи вказують на те, що додавання вітровловлювача покращило природну вентиляцію в цьому будинку.

Конструкції вітрових веж, які використовують регулюючі заслінки та сонячні колектори для посилення повітряного потоку навколо будівель були досліджені в працях [12] та [13]. Авторами була надана детальна методологія для проектування та розміщення вітрових веж.

Результати наукового розгляду були представлені в праці [14], де наведено останні розробки і застосування вітровловлювачів у сучасній архітектурі. Авторами обговорюється залежність ефективності вітровловлювача відповідно до його параметрів, а саме висоти, конфігурації та поперечного перерізу, внутрішніх та зовнішніх умов будівлі (мікроклімату) та навколишнього середовища (клімату), та доводиться, що вітровловлювач суттєво впливає на зниження охолоджувальних навантажень і забезпечує необхідну швидкість вентиляції будівель.

Метою роботи є комплексний огляд конструктивних особливостей вітровловлювачів різних типів та конфігурацій, які знайшли застосування в сучасній архітектурі.

Основна частина. На даний час існує багато видів вітровловлювачів і їх умовно можна класифікувати за: кількістю вхідних отворів, кількістю рівнів, типом форми поперечного перерізу та розташуванням перегородок [15] (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація вітровловлювачів

За кількістю вхідних отворів	односторонні
	двосторонні
	чотиристоронні
	шестисторонні
	восьмисторонні
За типом форми поперечного перерізу	циліндричні
	квадратні
	прямокутні
	шестигранні
	тетраедричні
За кількістю рівнів	однорівневі
	дворівневі
	багаторівневі
За типом розташуванням перегородок	К-подібної форми
	Х-подібної форми
	Н-подібної форми
	з рівними каналами
	з різними каналами

За кількістю вхідних отворів вітровловлювачі можна поділити [16] на:

- односторонні вітровловлювачі; мають вхідні отвори в одному, підвітряному, напрямку, що дає змогу потрапляти холодним вітрам до приміщень, а потім повітря виходить з іншого отвору будівлі; вимагають додаткових отворів в будівлі (вентиляційні отвори, вікна, двері) для виходу повітря. Продуктивність, в основному, залежить від напрямку вітру, тому вхідні отвори повинні бути на максимальній високому рівні;

- двосторонні вітровловлювачі (парні вітровловлювачі); за розмірами менші за односторонні та мають два отвори з двох протилежних сторін, таким чином, що один отвір використовується як вхід для свіжого повітря, а через інший витягується тепле повітря. Зазвичай використовується в регіонах з переважно сильним вітром;

- чотиристоронні вітровловлювачі; за розмірами є вищими та більшими за інші типи вітровловлювачів, їх висота залежить від кліматичних умов. Зазвичай цей тип вітровловлювачів використовується в місцях, де немає певного напрямку вітру, оскільки їх конструкція в основному залежить від вловлювання переважаючого вітру з усіх напрямків [17];

- шестисторонні вітровловлювачі;

- восьмисторонні вітровловлювачі; як правило, найвищі за всі інші вітровловлювачі та мають більшу стійкість проти тиску вітру.

В залежності від поперечного перерізу вітровловлювачі поділяються на групи [16]:

- циліндричні вітровловлювачі; мають найскладнішу конструкцію з наведених, тому мають не надто широке застосування порівняно з іншими, але мають високу ефективність завдяки тому, що їх проектування базується на аеродинамічних характеристик вітру;

- квадратні вітровловлювачі;

- прямокутні вітровловлювачі є найбільш поширеним типом вітровловлювачів;

- шестигранні вітровловлювачі;

- тетраедричні вітровловлювачі.

Вітровловлювачі за кількістю рівнів поділяються на однорівневі, дворівневі та багаторівневі. Найбільше розповсюдження отримали однорівневі вітровловлювачі, дворівневі вважаються рідкісним типом, а багаторівневі вітровловлювачі нечисленні та використовуються як архітектурний компонент будівлі.

Кількість внутрішніх перегородок, а також розмір і розташування отворів вітровловлювача суттєво впливають на його вентиляційні характеристики. Внутрішні перегородки відіграють важливу роль в ефективності вітровловлювачів. Вони впливають на швидкість і турбулентність повітряного потоку, а також розділяють поперечний переріз вітровловлювача на менші канали, підвищуючи міцність його конструкції та зменшуючи чутливість до різних напрямків вітру. Тому вітровловлювачі з різними типами розташування перегородок мають різні характеристики, що впливають на ефективність роботи вітровловлювача. Розташування перегородок наведено для вітровловлювачів з квадратним (рис. 3) [18] та багатограним (рис. 4) поперечним перерізом.

Різні форми перегородок у прямокутних вітровловлювачах включають перегородки Х-подібної (рис. 5 а), К-подібної (рис. 5 б) та Н-подібної форм (рис. 5 в) [19].

Широке розмаїття внутрішніх перегородок можна знайти в традиційних вітровловлювачах, тоді як конструкція сучасних вітровловлювачів простіша (здебільшого Х-подібна або чотиристороння). Вхідні отвори вітровловлювачів в основному конфігуруються на основі орієнтації переважаючого напрямку вітру. Рельєф місцевості, розташування та необхідна швидкість повітряного потоку є визначальними факторами для розміру отворів і кількості внутрішніх перегородок.

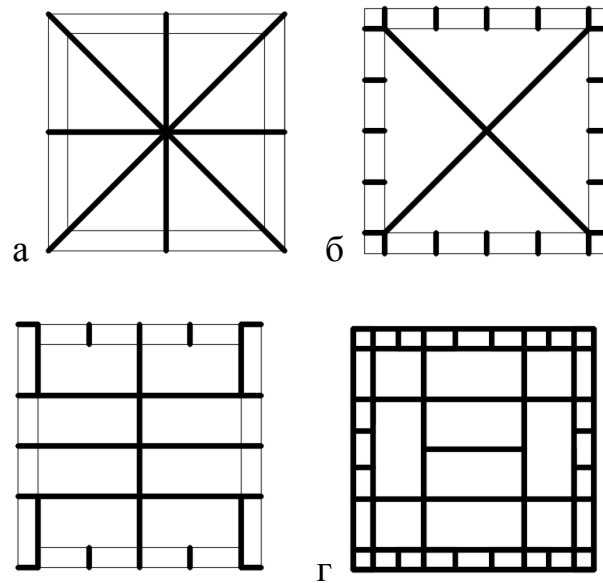


Рис. 3. Розташування в квадратних вітровловлювачах перегородок: а - К-подібної форми; б - Х-подібної форми; в, г - Н-подібної форми

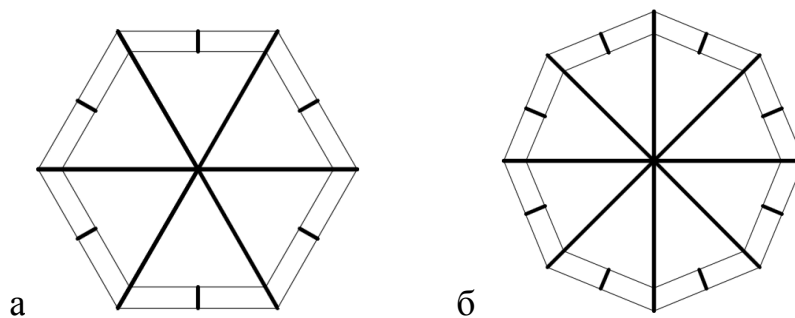


Рис. 4. Розташування перегородок в:
а - шестиграних вітровловлювачах; б - восьмигранних вітровловлювачах

Таким чином, огляд публікацій показує, що в останні роки увага науковців повернута до енергії вітру як до екологічної спонуки природної вентиляції. Для того, щоб покращити показники вентиляції та забезпечити комфортні умови для мешканців будівлі, особливо в спекотні безвітряні дні, вітровловлювач має великий потенціал для поєднання з іншими методами природної вентиляції, такими як вікно, сонячний димохід та внутрішній двір для підвищення його ефективності. А використання новітніх конструкції вітровловлювачів в сучасних будівлях доводить, що вітровловлювачі мають великий потенціал для забезпечення необхідної природної вентиляції в сучасній архітектурі та сучасному способі життя.

При використанні в системі вентиляції вітровловлювачів виникатимуть проблеми. Зокрема, можливе потрапляння в холодний період року холодного повітря у приміщення, що може призвести до збільшення енерговитрат на підтримання параметрів мікроклімату.

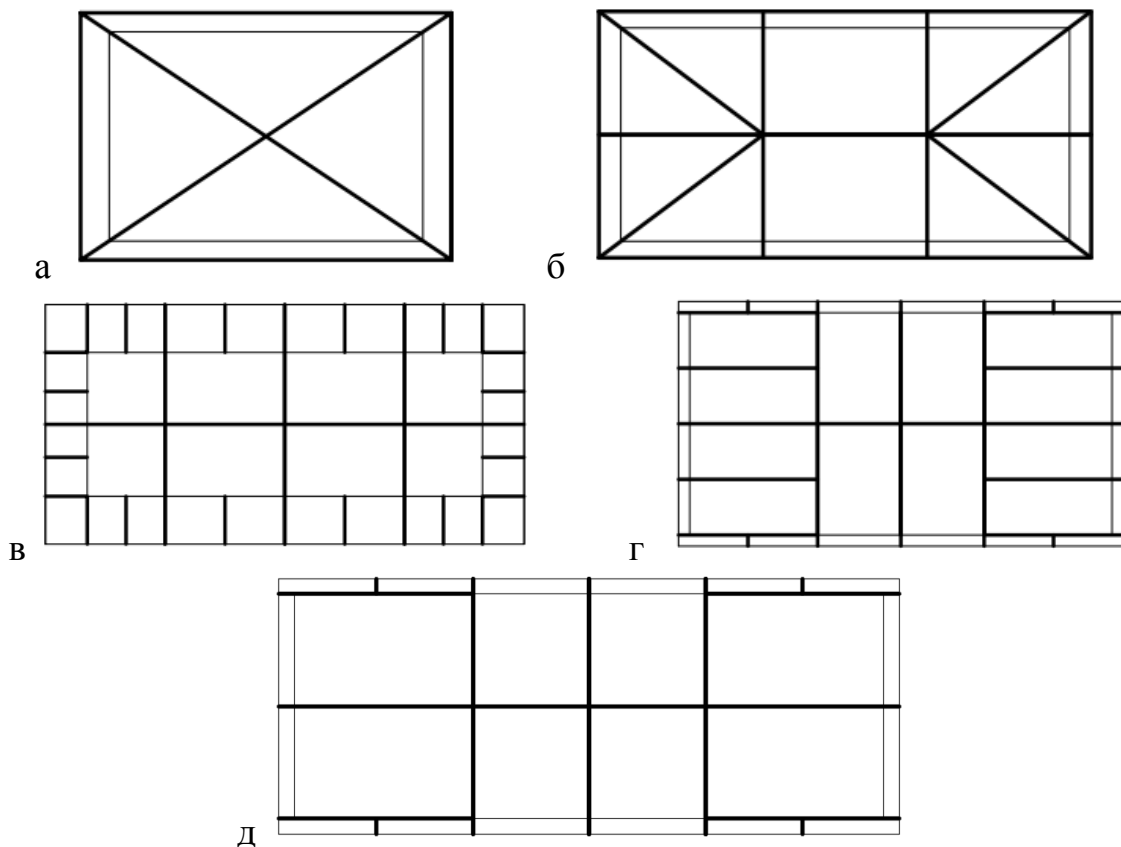


Рис. 5. Розташування в прямокутних вітровловлювачах перегородок:
а - Х-подібної форми; б - К-подібної форми; в - Н-подібної форми; г - з рівними каналами; д - з різними каналами

У холодний період року вітри мають більшу швидкість ніж у теплий, а для енергоефективного забезпечення комфорту в теплий період року потрібно більше зовнішнього повітря на асиміляцію теплонадлишків. Крім того, під час опадів можливе потрапляння вологи до системи вентиляції та у приміщення через вітровловлювач, навіть за наявності захисту від потрапляння опадів, що, в свою чергу, може негативно впливати на самопочуття.

Для вирішення цих проблем і покращення ефективності використання вітровловлювачів необхідні подальші наукові дослідження, які сприятимуть розробленню інноваційних рішень для підвищення енергоефективності будівель з вітровловлювачами та будуть спрямовані на розроблення нових і вдосконалення наявних конструкцій вітровловлювачів

Висновки. В останні роки значення енергії вітру як екологічної спонуки руху повітря для природної вентиляції. Для того, щоб покращити показники вентиляції та забезпечити комфортні умови для мешканців будівлі, особливо в спекотні безвітряні дні, вітровловлювач має великий потенціал для поєднання з іншими методами природної вентиляції, такими як вікно, сонячний димохід та внутрішній двір для підвищення його ефективності.

References

1. Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Yusof, M. B. M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., Yazid, M. N. A. W. M. A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 2017, pp. 736–756.
2. Chenari B., Dias Carrilho J., Gameiro da Silva M., Towards sustainable, energyefficient and healthy ventilation strategies in buildings: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59, 2016, pp. 1426–1447.
3. Varela-Boydo, C. A., Moya, S. L., Watkins, R. Analysis of traditional windcatchers and the effects produced by changing the size, shape, and position of the outlet opening. *Journal of Building Engineering*, 33, 2021, 101828.
4. Calautit J., Tien P., Wei S., Calautit K., Hughes B. Numerical and experimental investigation of the indoor air quality and thermal comfort performance of a low energy cooling windcatcher with heat pipes and extended surfaces, *Renew. Energy* 145, 2020, pp. 744-756.
5. Allesina G., Ferrari C., Muscio A., Pedrazzi S. Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies, *Renew. Energy* 141, 2019, pp. 541-548.
6. Calautit, J., O'Connor, D., Tien, P., Wei, S., Pantua, C., & Hughes, B. (2020). Development of a natural ventilation windcatcher with passive heat recovery wheel for mild-cold climates: CFD and experimental analysis. *Renewable Energy*, 160, 2020, pp. 465-482.
7. Afshin M, Sohankar A, Manshadi MD, Esfeh MK. An experimental study on the evaluation of natural ventilation performance of a two-sided wind-catcher for various wind angles. *Renew Energy*, 85, 2016, pp. 1068–1078.
8. Hedayat Z, Belmans B, Hossein Ayatollahi M, Wouters I, Descamps F. Performance assessment of ancient wind catchers - an experimental and analytical study. *Energy Procedia*, 78, 2015, pp. 2578–2583.
9. Abd Wahab I., Aziz H., Salam N. Building design effect on indoor natural ventilation of tropical houses, *Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol.* 10, 2019, pp. 23-33.
10. Abd Wahab I., Ismail L., Abdullah A.H., Rahmat M., Abd Salam N.N., Natural ventilation design attributes application effect on indoor natural ventilation performance of a double storey single unit residential building, *Int. J. Integr. Eng.* 10, 2018, pp. 7-12.
11. Drach P. R. C., “A study on air circulation: the case of house vi of “vila” 37 with the application of wind-catch”, vol. 2, 2009, pp. 307-316.
12. Bansal N.K., Mathur R., Bhandari M.S. A study of solar chimney assisted wind tower systems for natural ventilation in buildings, *Building & Environment* 29,

4. 1994, pp. 495–500.

13. Bahadori M.N. Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East, *Renewable Energy* 5, 2. 1994, pp. 879–892.

14. Sangdeh, P. K., Nasrollahi, N. Windcatchers and their applications in contemporary architecture. *Energy and Built Environment* 3, 2022, pp. 56-72.

15. Nejat P., Windcatcher as a Persian sustainable solution for passive cooling, *Civ.Eng. Res. J.* 6, 07. 2018.

16. Bahadori M.N., Dehghani-Sanij A.R., *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*, Springer International Publishing, Switzerland, 2014.

17. Baghaiepoor M., Jovanovic G., Stanimirovic M. Climate adapted houses in Iran: hot, cold and humid climate, *Facta Univ. Ser. Archit. Civ. Eng.* 17, 2019, pp. 429–443.

18. Mahmoudi M. Wind catcher: an attractive and charming feature of Yazd city, *Bagh-e Nazar*, 3, 5. 2006, pp. 91–100.

19. Zarandi M.M. Analysis on Iranian wind catcher and its effect on natural ventilation as a solution towards sustainable architecture (case study: Yazd), *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Soc. Behav. Educ. Econ. Bus. Ind. Eng.* 3, 2009, pp. 668–673.

UDC 697.9

Post-graduate student **Valery Savin**,
savinvv@knu.edu.ua, ORCID: 0009-0008-6013-7371,
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine,
Sc.D, professor. **Vasyl Zhelykh**
Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-5063-5077,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

REVIEW OF PECULIARITIES OF USING WIND CATCHERS IN ENERGY-SAVING VENTILATION SYSTEMS

Abstract. *Natural ventilation plays an important role in ensuring comfortable living conditions. Wind catchers are part of this process and can provide the required ventilation rate for buildings. The performance of wind catchers depends on the relevant parameters, such as height, configuration, cross-sectional shape, number of inlets, speed of movement and variability of air movement direction. HVAC equipment is not only responsible for the largest portion of the total energy consumption within a building, but also for most indoor air quality problems. Vents, air ducts, and dirty filters are a suitable place for the growth of fungi and molds produced by organic dust, which contaminate the circulating air and cause significant pollution problems. This could be more critical given that we spend almost*

90% of our time indoors during our lives and work. Improvements in ventilation and air conditioning systems therefore play an important role in increasing energy efficiency in buildings, providing a better indoor climate for occupants and, as a result, reducing the likelihood of health problems. The cooling process plays an important role in creating comfortable conditions for humans. One of the most well-known elements of a passive cooling system for buildings with no or minimal energy consumption is a wind catcher. The effective-ness of wind catchers is influenced by wind force and buoyancy, and knowledge of the size, shape, and position of the outlet will help to understand new ideas and technologies for their application in modern architecture. A well-known example of natural ventilation that improves indoor quality by reducing pollution and humidity by replacing stale air with fresh outside air is a wind catcher (or wind tower). Nowadays, wind catchers are widely used in the world, having advantages in densely populated urban areas and in areas with low wind speeds, significantly affecting the reduction of cooling loads and providing the required ventilation rate of buildings. At present, there are many types of wind traps that can be classified according to the number of inlets, cross-sectional shape, and number of levels. The number of internal partitions, as well as the size and location of the openings of the wind collector, significantly affect its ventilation characteristics, efficiency, air flow velocity and turbulence, and also divide the cross-section of the wind collector into smaller channels, increasing the strength of its structure and reducing sensitivity to different wind directions.

Keywords: wind catcher, natural ventilation, passive cooling, energy efficiency.