

УДК 697. 644.1

Аспірант, асистент. **Андрій Бондаренко**,  
[bondarenko.andrii@pdaba.edu.ua](mailto:bondarenko.andrii@pdaba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-4531-2556,

доцент **Євгеній Юрченко**,  
[yel@mail.pgasa.dp.ua](mailto:yel@mail.pgasa.dp.ua), ORCID: 0000-0002-9356-3261,

доцент. **Олена Коваль**,  
[koval.olena@pdaba.edu.ua](mailto:koval.olena@pdaba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-7805-6811,

студент **Артем Коваль**,  
[22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua](mailto:22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua)

“Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”,  
вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро 49005, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ БУДІВЕЛЬ

***Анотація.** Повітропроникність будівлі визначає рівень її енергоефективності. Країни Європейського Союзу наближаються до стандартів NZEB та стандартів пасивного будинку. Українська нормативна база герметичності будівель не відповідає європейським стандартам енергоефективних будівель і потребує оновлення. Зокрема це стосується розрахунку повітропроникності будівель, та підвищення вимог до нормативно допустимого значення повітропроникності та енергоефективності будівель. Повітропроникність, виражається величиною  $q_{50}$  витікання повітря в  $\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{м}^2)$  на квадратний метр площі зовнішньої оболонки будинку при дії на будівлю перепаду тиску внутрішнього повітря в 50 Па. Повітропроникність будівель потрібно розраховувати за параметром  $q_{50}$  замість кратності повітрообміну  $n_{50}$ . Майже всі країни ЄС використовують у своїх нормативах параметр  $q_{50}$ . Винятками є Литва та Україна, де розрахунок фактичної повітропроникності ведеться за параметром  $n_{50}$ . У статті проаналізовано нормативні документи країн ЄС, порівняно вимоги до повітропроникності будівель із вимогами Українських нормативів та рекомендовано перейняти досвід країн ЄС.*

*Ключові слова:* енергоефективність, повітропроникність, міжнародний стандарт, методика, *BlowDoor*, герметичність, NZEB, пасивний будинок.

**Вступ.** Важливішим параметром, який впливає на комфорт в будинку та ефективне використання енергії, є повітропроникність. Повітропроникність, виражається величиною витікання повітря в  $\text{м}^3/(\text{год}\cdot\text{м}^2)$  на квадратний метр площі зовнішньої оболонки будинку при дії на будівлю перепаду тиску між внутрішнім і зовнішнім повітрям в 50 Па.

**Актуальність дослідження.** Перехід на більш точний метод розрахунку повітропроникності та енергоефективності будівлі дозволить правильно визначати енергетичну ефективність будівлі.

**Останні дослідження та публікації.** У статті [1], проаналізовано порядок розрахунку повітропроникності за параметром  $n_{50}$ , год<sup>-1</sup>. Дана ж стаття пояснює фізичний зміст параметрів  $n_{50}$ , год<sup>-1</sup>, та  $q_{50}$ , м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>), та доводить доцільність використання саме параметру  $q_{50}$ .

У нормативних документах більшості країн ЄС, зокрема Естонія, Фінляндія, Німеччина, Великобританія, Ірландія, затверджено параметр  $q_{50}$ . В Українських та Литовських нормативах залишається параметр  $n_{50}$ , год<sup>-1</sup> (табл. 1, рис. 1).

Усі нормативні документи європейських країн створені на основі на міжнародного стандарту ISO 9972:2015 [2]. Цей стандарт встановлює метод вимірювання повітропроникності будівель або частин будівель у стандартних умовах. Стандарт визначає застосування позитивного або негативного тиску, що механічно створюється в будівлях або в частинах будівлі. Стандарт визначає способи вимірювання витрати повітря залежно від різних перепадів статичного тиску в будівлі та зовні будівлі.

Цей стандарт призначений для застосування при визначенні повітропроникності в одній зоні будівлі. Відповідно до цього стандарту, при необхідності визначення повітропроникності в декількох зонах будівлі може бути використаний принцип однієї зони за умови відкриття внутрішніх дверей або створення рівного тиску у суміжних зонах.

Стандарт визначає фізичний зміст параметрів  $n_{50}$  і  $q_{50}$ . Параметр  $n_{50}$  – це величина, значення якої показує, скільки разів протягом години повітря у приміщенні повністю замінюється на нове [2]:

$$n_{50} = Q / V_{\text{прим}}, \text{ год}^{-1}, \quad (1)$$

де  $Q$  – виміряна витрата повітря [м<sup>3</sup>/год];  $V_{\text{прим}}$  – опалюваний об'єм приміщень [м<sup>3</sup>]. Насправді коли кажуть про повну заміну повітря на нове, мають на увазі подавання та видалення об'єму повітря, рівне об'єму приміщення. Повної заміни повітря при цьому не відбувається, адже припливне повітря перемішується з повітрям приміщення, а видаляється ця суміш.

Параметр  $q_{50}$  – це здатність матеріалів і конструкцій пропускати повітря під впливом перепаду тиску [3]:

$$q_{50} = Q / S_{\text{ок}}, \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2) \text{ або м/год}, \quad (2)$$

Таблиця 1. Нормативні значення повітропроникності в країнах ЄС

Країна	Норматив	$q_{50}$ , м <sup>3</sup> /(год· м <sup>2</sup> )	$n_{50}$ , год <sup>-1</sup>
Латвія	LBN002-15	<1,5	–
Литва	STR 2.01.02:2016	–	<1,0
Естонія	RKAS	<1,0	–
Польща	Building Codes 2014 EnEv	– <2,5	<1,5 –
Чехія	з механічною вентиляцією з рекуперацією	<1,5 <1,0	– –
Німеччина	DGNB (Target)	<2,5	–
Великобританія	BREEAM ATTMA	<2,5	–
Україна	ДБН В.2.6-31: 2021	–	<2,0
Пасивні будинки		<0,6	–

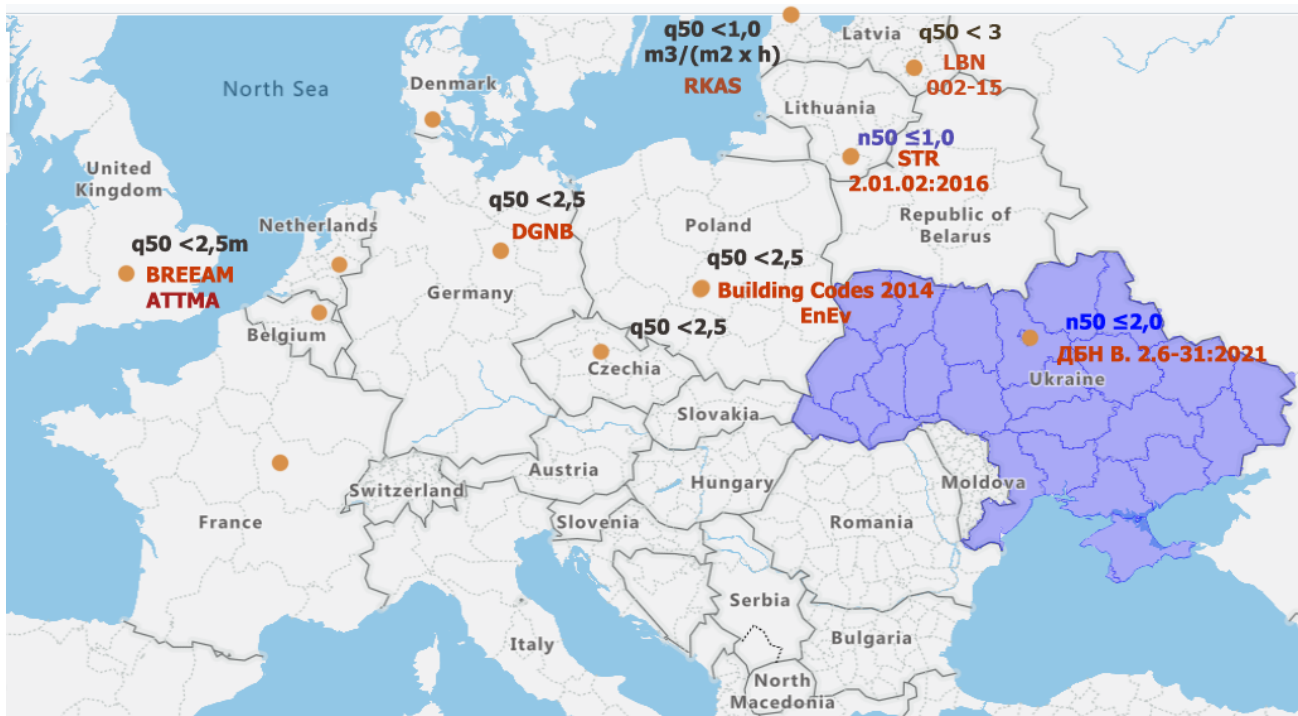


Рис. 1. Використання параметрів  $n_{50}$  і  $q_{50}$  у країнах ЄС

де  $S_{ок}$  – площа огорожувальних конструкцій, м<sup>2</sup>.

Опалюваний об'єм будівлі – фактичний, заміряний зсередини об'єм будівлі, який опалюється, тобто об'єм без урахування холодного горища, та холодного підвалу. Для будівлі у формі прямокутного паралелепіпеда з опалюваним об'ємом розмірами  $b \times \ell \times H$ , м,

$$V = b \cdot \ell \cdot H, \text{ м}^3 \quad (3)$$

Площа огороджувальних конструкцій  $S_{ок}$  м<sup>2</sup> – загальна площа всіх зовнішніх огороджувальних конструкцій, зовнішніх стін, підлоги, покрівлі або горищного перекриття.

Рекомендується використовувати параметр  $q_{50}$ , особливо для будівель із опалювальним об'ємом більше ніж 1200 м<sup>3</sup>. Параметр повітропроникності характеризується величиною витрати повітря або газу [м<sup>3</sup>/год], яке проходить через площу огороджувальних конструкцій [м<sup>2</sup>]. Так само коефіцієнт теплопередачі  $U$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), показує умови проходження теплоти крізь різні огороджувальні конструкції [2].

Параметр  $n_{50}$ , який характеризується відношенням витрати повітря або газу [м<sup>3</sup>/год], до опалювального об'єму будівлі [м<sup>3</sup>], не передбачає оцінювання стану зовнішніх огороджувальних конструкцій, і є відносним параметром, який виражається тільки як кратність повітрообміну [9].

Майже всі країни ЄС використовують у своїх нормативах параметр  $q_{50}$ . Винятком є Литва та Україна, де розрахунок фактичної повітропроникності ведеться за параметром  $n_{50}$ . За таблицею 1 нормативних значень повітропроникності найвище допустиме значення величини повітропроникності  $q_{50} < 2,5$  м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>), у Латвії та Чехії допустиме значення величини повітропроникності  $q_{50} < 1,5$  м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>), у більш північній Естонії та Фінляндії  $q_{50} < 1,0$  м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>). Нормативне значення повітропроникності для пасивних будинків  $q_{50} < 0,6$  м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>) [4-9].

Згідно з українським нормативом повітропроникності [10], повітропроникність визначається за  $n_{50}$ . Для класу енергоефективності С допускається значення  $n_{50} < 2,0$  год<sup>-1</sup>. Для більшості будинків це відповідає орієнтовно  $q_{50} < 5$  м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>) (рис. 2). За нормативом Литви, який також передбачує використання  $n_{50}$ , встановлено  $n_{50} < 1,0$  год<sup>-1</sup>, що орієнтовно відповідає  $q_{50} < 2,5$  год<sup>-1</sup>.

**Мета роботи:** проаналізувати державні норми повітропроникності країн ЄС, Довести доцільність використання параметру  $q_{50}$  замість  $n_{50}$ , дати рекомендації щодо внесення змін до нормативів України, зокрема перехід на визначення повітропроникності через параметр  $q_{50}$ , визначити максимальне значення нормативного показника повітропроникності будівель.

**Основна частина.** Проаналізовано звіти тестів повітропроникності 24-х об'єктів різних опалювальних об'ємів і класів енергоефективності. На рис. 2 зображено графік залежності параметрів  $q_{50}$  та  $n_{50}$  від опалюваного об'єму. Графік розділено по класам герметичності, окремо класи А, В, С та класи D, E, F. У статті залежність розглядається в рамках певного класу енергоефективності.

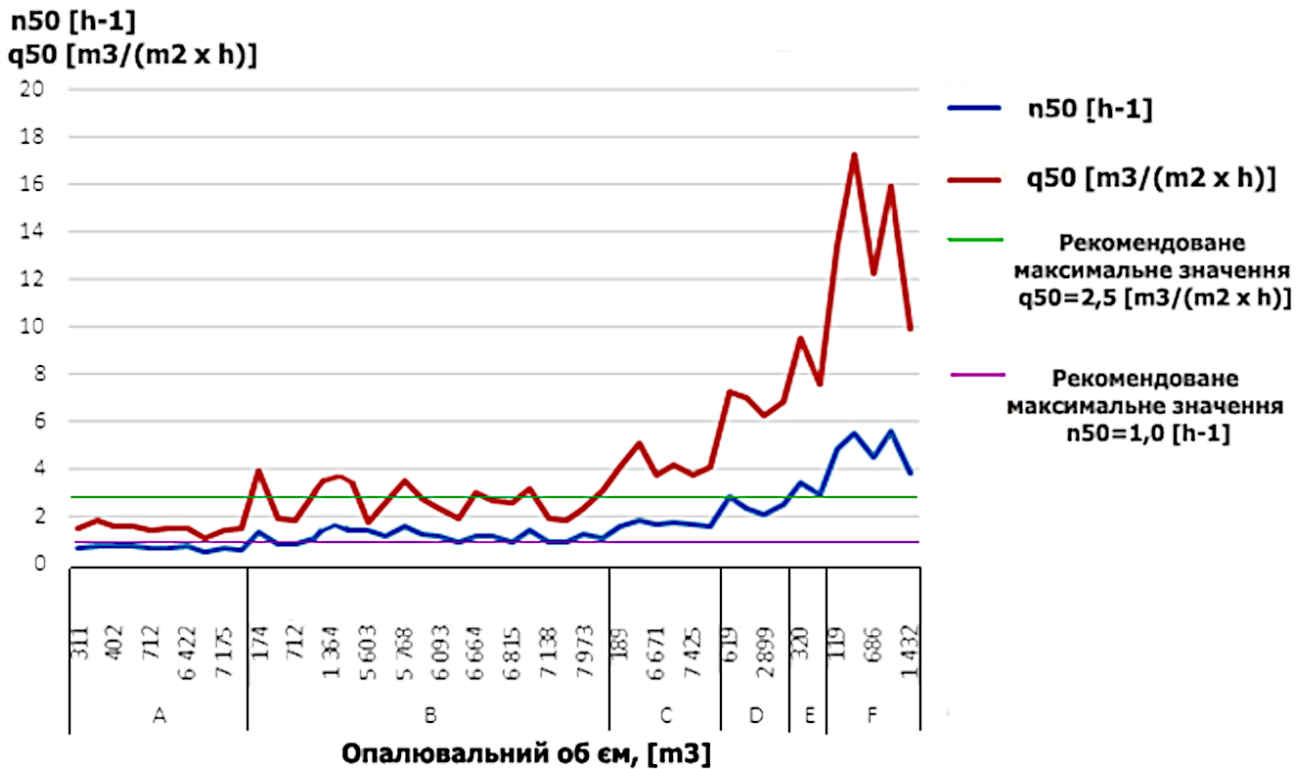


Рис. 2 Графік залежності  $n_{50}$  та  $q_{50}$  від об'єму з урахуванням класів енергоефективності

Адже тестовані будівлі мають різний теплотехнічний стан – від будівель які відповідають стандартам пасивного будинку до абсолютно не енергоефективних будівель.

Як було приведено раніше у нормативах більшості країн ЕС значення величини повітропроникності не повинно не перевищувати  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . На графік нанесено рекомендоване значення повітропроникності  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . За приведеними даними визначено, наскільки відхиляється фактичний показник повітропроникності будівель від рекомендованого мінімального нормативного значення  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ , яке повинно відповідати будівлям класу енергоефективності С.  $q_{50} < 2,0 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ , повинно відповідати будівлям класу енергоефективності В.  $q_{50} < 1,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ , повинно відповідати будівлям класу енергоефективності А.

На наступних графіках (рис. 3-6) показано залежність окремо для кожного класу енергоефективності та виконано порівняння з граничними значеннями повітропроникності  $q_{50}$  із  $n_{50}$  за [3]: для класу С  $n_{50} = 2,0 \text{ год}^{-1}$ , для класу В  $n_{50} = 1,5 \text{ год}^{-1}$ , для класу А  $n_{50} = 0,8 \text{ год}^{-1}$ . З рис. 3 видно що чотири з 10 об'єктів класу А не відповідають значенню повітропроникності  $q_{50} < 1,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$  в середньому на  $0,2 \dots 0,4 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . За параметром  $n_{50}$  усі будівлі відповідають класу енергоефективності А,  $n_{50} = 0,8 \text{ год}^{-1}$ .

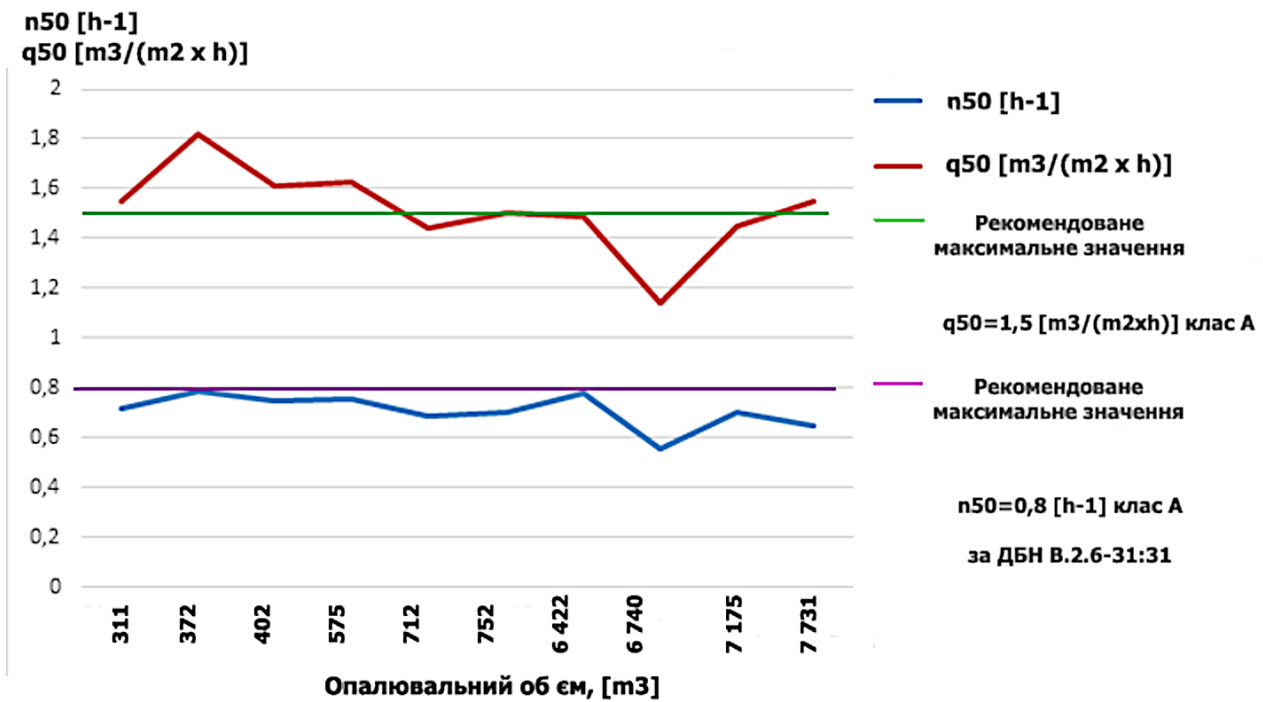


Рис.3 Графік залежності  $n_{50}$  та  $q_{50}$  від об'єму для класу «А»

Можна зробити висновок що навіть для будівель класу енергоефективності «А», значення  $n_{50}$  та  $q_{50}$  не відповідають одне одному.

Розглянемо залежності параметрів  $q_{50}$  та  $n_{50}$  у енергоефективних будівлях класу В, для яких повинно бути  $q_{50} < 2,0 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$  (рис.4). Більшість об'єктів класу В не відповідають значенню повітропроникності  $q_{50} < 2,0 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$  у середньому на  $1,0 \dots 1,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . За параметром  $n_{50}$  майже всі будівлі відповідають класу енергоефективності В:  $n_{50} = 1,5 \text{ год}^{-1}$ . Можна зробити висновок що для будівель класу енергоефективності «В» значення  $n_{50}$  та  $q_{50}$  також не відповідають одне одному із ще більшою розбіжністю.

З рис.5, видно, що всі об'єкти класу енергоефективності С не відповідають значенню повітропроникності  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . За параметром  $n_{50}$  усі будівлі відповідають класу енергоефективності С:  $n_{50} < 2,0 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ . Отже, для будівель класу енергоефективності «С» значення  $n_{50}$  та  $q_{50}$  також не відповідають одне одному із ще більшою розбіжністю ніж у класах В та А.

Із графіку залежності параметрів  $q_{50}$  та  $n_{50}$  у не енергоефективних будівлях класів D, E, F, (рис.6) видно, що всі об'єкти класів D, E, F, не відповідають нормативно допустимому значенню повітропроникності  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . За параметром  $n_{50}$  усі будівлі також не відповідають нормативно допустимому значенню класу енергоефективності С,  $n_{50} = 2,0 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ . Можна зробити висновок що для будівель класу енергоефективності «D, E, F» значення  $n_{50}$  та  $q_{50}$  не відповідають одне одному із ще більшою розбіжністю ніж у класах С, В та А.

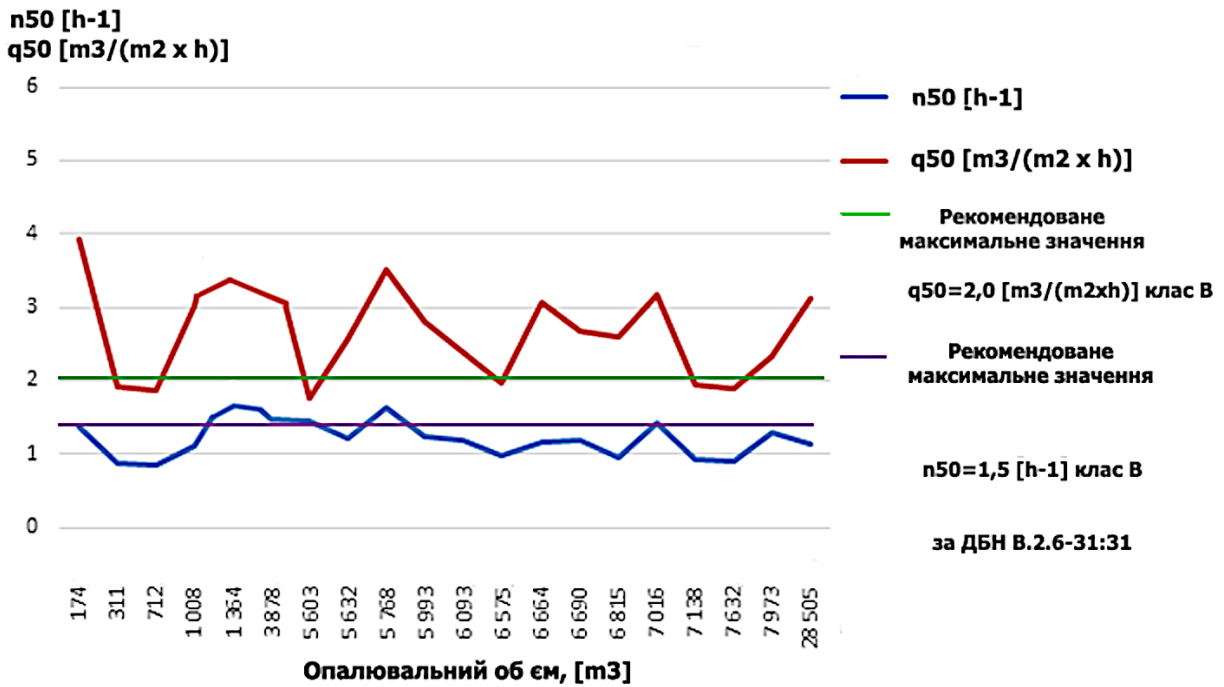


Рис.4 Графік залежності  $n_{50}$  та  $q_{50}$  від об'єму для класу «В»

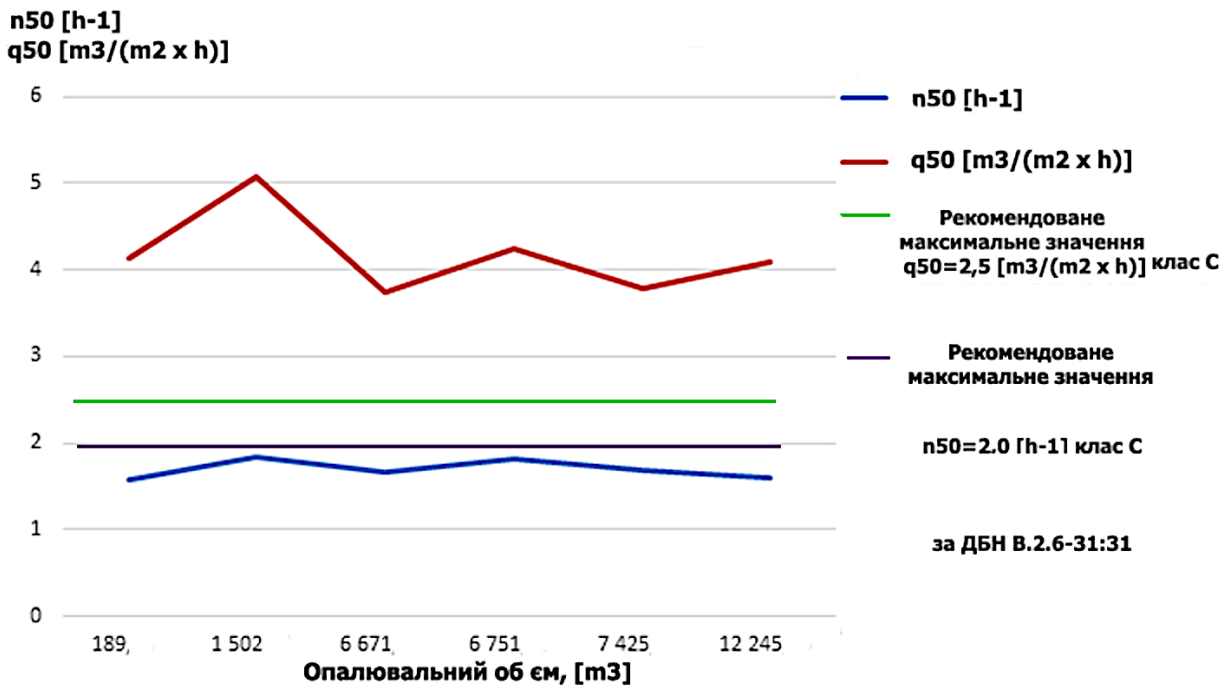


Рис.5 Графік залежності  $n_{50}$  та  $q_{50}$  від об'єму для класу «С»

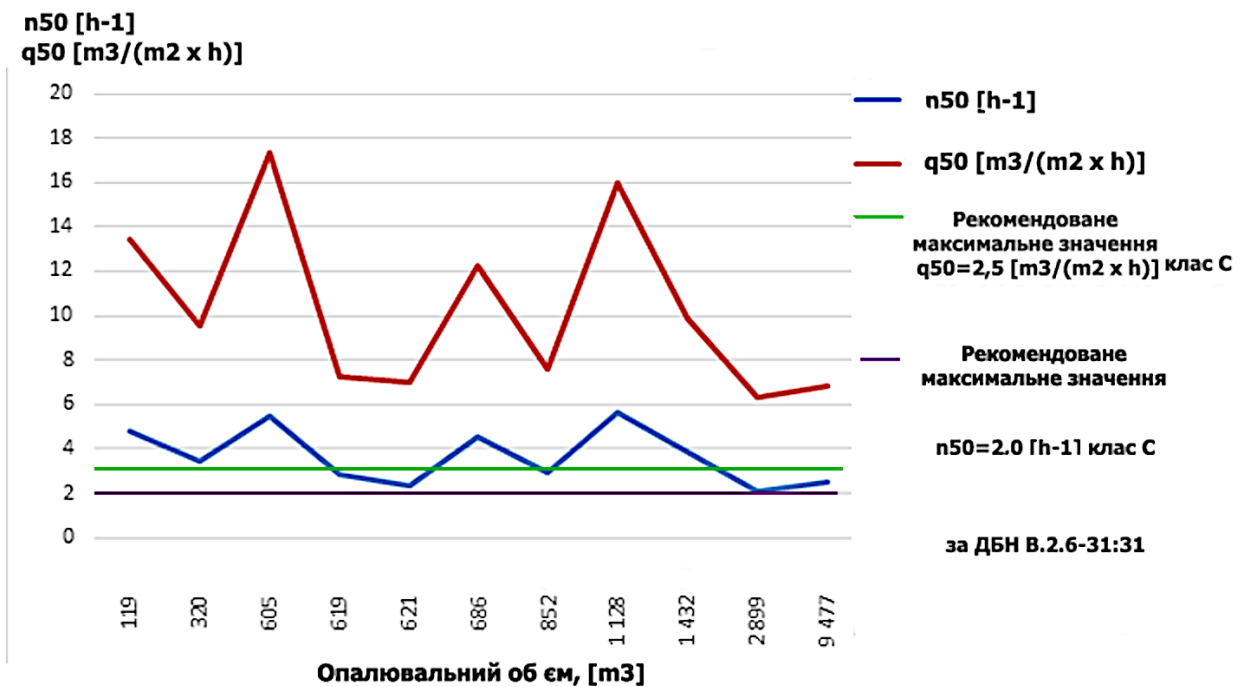


Рис.6 Графік залежності n50 та q50 від об'єму для класу «D,E,F»

У результаті аналізу табл.1 пропонується установити нормативне значення повітропроникності  $q_{50}$  відповідно до даних країн з максимально близькими кліматичними параметрами до України. Такими країнами є Німеччина, Великобританія та Польщі, для яких  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ , Україна може перейняти досвід цих країн у сфері енергоефективності та гармонізувати свої нормативи з ними, тобто прийняти  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ . Необхідно внести зміни у нормативні документи України ДБН В.2.6-31:2021 [3], та ДСТУ 9191:2022 [10]. Повітропроникність будівель необхідно розраховувати за параметром  $q_{50}$  замість  $n_{50}$ .

**Висновки.** Визначення повітропроникності через параметр  $n_{50}$  є некоректним. Виявлено велику розбіжність між визначенням енергоефективності за параметрами  $n_{50}$  та  $q_{50}$ . Також отримано залежність: чим нижче клас енергоефективності, тим більша невідповідність між визначенням класу енергоефективності за  $n_{50}$  та  $q_{50}$ . Виявлено, що українські норми повітропроникності та енергоефективності будівель значно відстають від європейських норм (рис. 2.). Тест із визначення фактичної повітропроникності повинен проводитись та розраховуватись за параметром  $q_{50}$ , із забезпеченням контролю якості проведення тесту. Необхідно внести зміни у нормативні документи України ДБН В.2.6-31:2021, та ДСТУ 9191:2022. Повітропроникність будівель необхідно розраховувати за параметром  $q_{50}$  замість  $n_{50}$ . Пропонується установити нормативне значення повітропроникності  $q_{50} < 2,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ , що відповідає нормативам Німеччини, Великобританії та Польщі. Адже клімат цих країн схо-



жий із кліматом України.

## References

1. Bondarenko A, Yurchenko Eu.L., Koval O. O., Tymoshenko O.A. “Improvement of methodological basis of determination of tightness of building cover”. Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture, No 3, 2022, p. 27-34
2. Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method, UK Standard, ISO 9972:2015, ISO, 2015.
3. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel, DBN B.2.6-31:2021, Ukrarkhbudininform, 2022
4. ATTMA The Air Tightness Testing & Measurement Association. Buckinghamshir, HP7 OUT, 2010. 31p.
5. Pastatų energinio naudingumo projektavimas STR 2.05.01:2013. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.462390/QskEtkOdHd>
6. Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika. LBN 002-15, 2015ю <https://likumi.lv/ta/id/275015-noteikumi-par-latvijas-buvnormativu-lbn-002-15-eku-norobezjosos-konstrukciju-siltumtehnika->
7. Haldame ja arendame Eesti kinnisvara. RKAS (EE). <https://www.rkas.ee/>
8. Energieeinsparverordnung. EnEV, 2017.
9. Important facts about DGNB certification. German Sustainable Building Council, DGNB, <https://www.dgnb-system.de/en/>
10. Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel. DSTU 9191:2022, UkrNDNTs, 2022

UDC 697. 644.1

Postgraduate, assistant professor. **Andrii Bondarenko**,  
[bondarenko.andrii@pdaba.edu.ua](mailto:bondarenko.andrii@pdaba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-4531-2556,  
Associate Professor **Eugenii Yurchenko**,  
[yel@mail.pgasa.dp.ua](mailto:yel@mail.pgasa.dp.ua), ORCID: 0000-0002-9356-3261,  
Associate Professor **Olena Koval**,  
[koval.olena@pdaba.edu.ua](mailto:koval.olena@pdaba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-7805-6811,  
student. **Artem Koval**  
[22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua](mailto:22230-eeb.koval@365.pdaba.edu.ua)

Pridniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
St. Architect Oleg Petrov, 24-a, Dnipro 49005, Ukraine

## DETERMINATION OF AIR PERMEABILITY OF BUILDINGS

**Abstract.** *The air permeability of the building determines the level of energy efficiency of the building. The regions of the European Union are approaching NZEB standards and passive house standards. The Ukrainian regulatory framework for airtightness does not meet European standards for energy-efficient buildings and will require updating, as there will be an increase in the wind permeability of the building, and the increase is possible to the normatively permissible value, increased air permeability and energy efficiency. The permeability is expressed by the value of the air flow in cubic meters per year per square meter of the area of the outer shell of the booth when there is a pressure difference in the internal air of 50 Pa. Air permeability will need to be specified by parameter  $q_{50}$  [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ] instead of  $n_{50}$  [ $\text{h}^{-1}$ ]. All countries of the European Union may use the  $q_{50}$  [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ] parameter in their standards. Exclusions are Lithuania and Ukraine, where the actual air permeability is determined by the parameter  $n_{50}$  [ $\text{h}^{-1}$ ]. Based on the Ukrainian standard for air permeability, air permeability is calculated by  $n_{50}$  [ $\text{h}^{-1}$ ]. For energy efficiency class C, values  $n_{50} < 2.0$  [ $\text{h}^{-1}$ ] are allowed, which is approximately the same value as  $q_{50} < 5.0$  [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ]. Following the Lithuanian standard, which also corresponds to the vicoristics  $n_{50}$ , where  $n_{50} < 1.0 \text{ h}^{-1}$ , which is approximately the same value as  $q_{50} < 2.5$  [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ]. It is proposed to establish new standard values for the air permeability and energy efficiency in line with European standards. The results of penetration tests of 24 objects of different heating volumes and energy efficiency classes were analyzed. It's shown that lowering the energy efficiency class disharmonises the  $n_{50}$  and  $q_{50}$  values. The results allow proposal to set the normative value  $n_{50} < 2.5$*

**Key words:** *energy efficiency, air permeability, international standard, methodology, BlowDoor, tightness, NZEB, passive house.*