

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-7>

УДК 631.22:697.94:621.577

О. С. Ковязін, канд. техн. наук

А. І. Панченко, д-р техн. наук

І. О. Чижиков, канд. техн. наук

О. О. Дереза, канд. техн. наук

С. В. Дереза, ст. викладач

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail

ORCID: 0000-0002-3027-872X

ORCID: 0000-0002-1230-1463

ORCID: 0000-0002-3022-4828

ORCID: 0000-0003-2652-9853

ORCID: 0000-0001-9797-0967

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛООВОГО НАСОСА ҐРУНТ-ВОДА ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Анотація. У статті здійснено порівняльну оцінку геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода як альтернативних систем енергозабезпечення тваринницьких приміщень. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зниження енергоспоживання, скорочення експлуатаційних витрат і забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в умовах зростання вартості енергоресурсів та посилення екологічних вимог до аграрного виробництва. Метою роботи є обґрунтування доцільності використання геотермальної вентиляції шляхом її порівняння з тепловим насосом ґрунт-вода за ключовими технічними, енергетичними, економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками. Методичною основою дослідження є аналітичний огляд літературних джерел з подальшим узагальненням результатів за сімома критеріями ефективності: охолодження повітря, нагрівання повітря, енергоефективність, економічна ефективність, термін служби, вплив конденсату на роботу системи та екологічність. Результати порівняння подано у вигляді графічної моделі, що дає змогу інтегрально відобразити сильні та слабкі сторони досліджуваних технологій. Встановлено, що геотермальна вентиляція має переваги за показниками енергоефективності, економічної ефективності, тривалості експлуатації та екологічної безпечності, що зумовлено пасивним принципом її функціонування, конструктивною простотою та відсутністю холодоагентів. Водночас тепловий насос ґрунт-вода забезпечує кращі результати щодо стабільного підтримання температурного режиму впродовж року та ефективнішого контролю процесів, пов'язаних з утворенням конденсату. Обґрунтовано, що для більшості тваринницьких приміщень геотермальна вентиляція є більш доцільним рішенням з огляду на нижчі витрати, простоту експлуатації та вищу екологічну безпечність, тоді як тепловий насос ґрунт-вода слід розглядати як ефективнішу, але більш капіталомістку альтернативу для об'єктів із підвищеними вимогами до гарантованого цілорічного підтримання мікроклімату.

Ключові слова: альтернативне енергозабезпечення, ґрунтово-повітряний теплообмінник, мікроклімат, енергоефективність, економічна ефективність, екологічна безпечність.

Постановка проблеми. Енергозабезпечення тваринницьких приміщень є одним із ключових чинників забезпечення стабільної продуктивності галузі, оскільки параметри мікроклімату безпосередньо впливають на фізіологічний стан тварин, рівень їх продуктивності, збереженість поголів'я та економічні результати господарства. Особливої важливості це набуває в умовах зростання вартості традиційних енергоресурсів, посилення вимог до енергоефективності виробництва та необхідності зменшення екологічного навантаження від експлуатації інженерних систем [1, 2].

У практиці тваринництва підтримання нормативної температури й повітрообміну зазвичай супроводжується значними витратами енергії, особливо в зимовий і літній періоди. Це зумов-



лює потребу у впровадженні альтернативних систем, здатних забезпечити зниження енергоспоживання без погіршення умов утримання тварин. Серед таких рішень перспективними є системи, що використовують тепловий потенціал ґрунту, зокрема геотермальна вентиляція на основі ґрунтово-повітряного теплообмінника та тепловий насос ґрунт-вода [3–5].

Разом із тим вибір між зазначеними технологіями не є однозначним. Тепловий насос ґрунт-вода забезпечує високу керованість і здатність стабільно підтримувати нормативний температурний режим упродовж року, проте характеризується значними капітальними витратами, складністю монтажу та залежністю від активного енергоспоживання [1, 6, 7]. Геотермальна вентиляція, навпаки, є конструктивно простішою, дешевшою в експлуатації та екологічно безпечнішою, однак її ефективність залежить від сезонних умов і не завжди є достатньою для повного покриття теплового навантаження в холодний період [5, 8, 16].

Отже, виникає науково-прикладна проблема обґрунтування доцільності використання геотермальної вентиляції як альтернативного рішення для енергозабезпечення тваринницьких приміщень у порівнянні з тепловим насосом ґрунт-вода. Необхідність такого обґрунтування зумовлена тим, що в наукових публікаціях накопичено значний масив даних щодо окремих технічних, енергетичних, економічних та екологічних характеристик обох систем, однак їх узагальнення в контексті потреб тваринницьких приміщень залишається недостатньо систематизованим [1, 3, 5].

У зв'язку з цим актуальним є проведення систематизованого аналітичного огляду літературних джерел з метою узагальнення технічних, енергетичних, економічних, експлуатаційних та екологічних характеристик геотермальної вентиляції і теплового насоса ґрунт-вода. Такий підхід дає змогу сформулювати інтегральну порівняльну модель досліджуваних систем і на цій основі обґрунтувати вибір найбільш доцільного рішення для енергозабезпечення тваринницьких приміщень [1, 3, 5, 8].

Аналіз останніх досліджень. Проблема енергозабезпечення тваринницьких приміщень у сучасних умовах набуває особливої актуальності у зв'язку з необхідністю одночасного забезпечення нормативного мікроклімату, зниження експлуатаційних витрат, підвищення енергоефективності та мінімізації екологічного навантаження. У науковій літературі дедалі більша увага приділяється використанню ґрунтового теплового потенціалу як джерела або акумулятора енергії для систем вентиляції, опалення та охолодження. Серед найбільш досліджених рішень особливе місце займають геотермальна вентиляція, реалізована на основі ґрунтово-повітряних теплообмінників, та тепловий насос ґрунт-вода, який належить до активних систем теплопостачання і холодопостачання [3–5].

Аналіз опрацьованих джерел показує, що обидві технології базуються на використанні відносно стабільної температури ґрунту, однак відрізняються принципом дії, конструктивною складністю, енергетичними показниками, економічними параметрами та експлуатаційними ризиками. Геотермальна вентиляція функціонує переважно як пасивна система, у якій теплота або холод ґрунту безпосередньо передаються припливному повітрю через стінки підземного каналу. Тепловий насос ґрунт-вода, навпаки, є активною системою, де ґрунт виступає низькопотенційним джерелом теплоти або приймачем надлишкового тепла, а необхідний рівень температури забезпечується завдяки роботі компресора, циркуляційного насоса та системи керування [1, 3, 4].

Охолодження повітря. Дослідження ґрунтово-повітряних теплообмінників підтверджують ефективність використання ґрунту як природного холодоакумулятора у теплий період року. Установлено, що пропускання припливного повітря через підземні повітропроводи дає змогу знизити його температуру перед подачею до приміщення, зменшити пікові теплові навантаження та частково покрити потребу в попередньому охолодженні [9–11]. Ефективність такого



охладження визначається довжиною і діаметром каналу, глибиною закладання, швидкістю руху повітря та станом ґрунтового масиву [11–13].

Для теплових насосів ґрунт-вода характерна вища керованість процесу охолодження, оскільки система може працювати як у пасивному, так і в активному режимі. Це забезпечує стабільніше підтримання заданих параметрів внутрішнього середовища за умов екстремально високих зовнішніх температур, однак така перевага досягається за рахунок вищої конструктивної складності та більшого споживання електроенергії [7, 14, 15]. Отже, за критерієм охолодження повітря обидві технології мають високий потенціал, але геотермальна вентиляція вирізняється більшою енергетичною ощадністю, тоді як тепловий насос – вищою керованістю процесу.

Нагрівання повітря. У зимовий період між досліджуваними технологіями проявляється суттєвіша різниця. Геотермальна вентиляція забезпечує попередній підігрів припливного повітря завдяки тепловому потенціалу ґрунту, що є вищим за температуру зовнішнього повітря, і може ефективно згладжувати температурні коливання в міжсезоння [16–18]. Однак за низьких зовнішніх температур її потенціалу не завжди достатньо для гарантованого досягнення нормативного температурного режиму без застосування додаткового догріву [17, 18].

На відміну від неї, тепловий насос ґрунт-вода здатний підтримувати задану температуру в ширшому діапазоні зовнішніх умов, оскільки використовує активне підвищення температурного рівня за допомогою компресорного циклу [4, 15, 19]. Це робить його більш надійним рішенням для зимового періоду, особливо коли потрібне гарантоване цілорічне підтримання нормативних параметрів мікроклімату.

Енергоефективність. Порівняння енергоефективності двох систем потребує обережного тлумачення, оскільки для пасивних та активних технологій використовуються різні підходи до оцінювання ефективності. Для геотермальної вентиляції характерним є дуже низьке власне енергоспоживання, оскільки електроенергія витрачається переважно на переміщення повітря вентиляторами, тоді як тепловий ефект формується завдяки природному теплообміну з ґрунтом [8, 11, 20]. Саме тому такі системи часто розглядаються як надзвичайно вигідні з точки зору співвідношення між отриманим тепловим або холодним ефектом і прямими витратами електроенергії [20, 21].

Теплові насоси ґрунт-вода також демонструють високі показники енергоефективності та часто перевершують повітряні теплові насоси завдяки стабільнішій температурі джерела [3, 4, 19]. Водночас їхня робота завжди пов'язана з витратами електроенергії на компресор, насоси та автоматику, тому з позиції мінімізації прямих енерговитрат геотермальна вентиляція часто виявляється більш вигідною.

Економічна ефективність. Економічні аспекти використання ґрунтових енергетичних технологій є одним із ключових критеріїв вибору для тваринницьких приміщень. Геотермальна вентиляція характеризується порівняно невисокими капітальними витратами, оскільки її основними елементами є підземні повітропроводи, вентилятори та допоміжна арматура [8, 22, 23]. Водночас експлуатаційні витрати таких систем залишаються мінімальними через відсутність енергоємних елементів активного теплоперетворення [8, 24].

Тепловий насос ґрунт-вода, навпаки, потребує значних початкових інвестицій, пов'язаних із бурінням свердловин або влаштуванням горизонтального колектора, придбанням обладнання, монтажем і налагодженням [1, 6, 7]. Хоча в довгостроковій перспективі високий коефіцієнт перетворення енергії може компенсувати ці витрати, у реальних умовах тваринницьких підприємств стартова вартість і складність монтажу часто стають стримувальним чинником.

Термін служби. У літературі підкреслюється, що довговічність систем, які використовують ґрунтовий тепловий потенціал, суттєво залежить від конструктивної складності, наявності



рухомих елементів та вимог до сервісного обслуговування. Геотермальна вентиляція має перевагу завдяки простоті конструкції: відсутність компресорного обладнання, холодильного контуру та складної автоматики знижує ризик відмови та підвищує надійність довготривалої експлуатації [8, 25, 26].

Тепловий насос ґрунт-вода також характеризується значним ресурсом роботи, однак наявність компресора, насосного обладнання та систем автоматики зумовлює потребу в регулярному технічному обслуговуванні та періодичній заміні окремих елементів [1, 4, 7]. Саме тому в аспекті строку служби пасивна геотермальна вентиляція зазвичай має кращі позиції.

Конденсат і його вплив на роботу систем. Проблема утворення конденсату є одним із найважливіших експлуатаційних аспектів для систем ґрунтово-повітряних теплообмінників. При літньому охолодженні вологого припливного повітря нижче точки роси на внутрішніх поверхнях підземних повітропроводів може випадати волога, що за відсутності належного дренажу та санітарного контролю здатне спричинити накопичення води, розвиток мікроорганізмів і погіршення експлуатаційної надійності системи [10, 27, 28].

У системах із тепловим насосом конденсат також утворюється, однак його відведення конструктивно передбачене штатними дренажними рішеннями у складі внутрішніх блоків або теплообмінних вузлів [4, 15]. Тому вплив конденсату на загальну працездатність теплового насоса є значно меншим і краще контрольованим.

Екологічність. Екологічна доцільність використання ґрунтових технологій пов'язана не лише зі зменшенням споживання традиційних енергоресурсів, а й із характером потенційних ризиків для навколишнього середовища. Геотермальна вентиляція є однією з найбільш екологічно нейтральних систем, оскільки не потребує холодоагентів, не використовує активного теплового перетворення та характеризується низьким рівнем споживання електроенергії [8, 29, 30].

Теплові насоси ґрунт-вода також розглядаються як екологічно ефективна альтернатива традиційним системам опалення та охолодження, однак їхня екологічна ефективність залежить від джерела електроенергії, складу електромережі, герметичності холодильного контуру та ризику витoku холодоагенту або робочої рідини [1, 3, 4]. З огляду на це геотермальна вентиляція в більшості випадків може розглядатися як екологічно безпечніше рішення.

Проведений аналіз літературних джерел свідчить, що геотермальна вентиляція і тепловий насос ґрунт-вода представляють два різні підходи до використання теплового потенціалу ґрунту. Перша технологія демонструє переваги у сфері енергоощадності, економічності доступності, довговічності та екологічної безпечності, що особливо важливо для більшості фермерських господарств. Друга система забезпечує вищу надійність підтримання нормативного температурного режиму, насамперед у зимовий період, а також краще контролює експлуатаційні процеси, пов'язані з конденсатом, однак потребує значно більших капітальних і експлуатаційних витрат [3, 4, 8].

Таким чином, проведений огляд літературних джерел дозволив систематизувати основні переваги та обмеження геотермальної вентиляції і теплового насоса ґрунт-вода за ключовими технічними, енергетичними, економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками. На основі цього узагальнення можна побудувати радарну діаграму порівняльної ефективності досліджуваних систем, яка наочно відображає співвідношення їх сильних і слабких сторін та слугує візуальним підсумком проведеного аналітичного огляду.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є порівняльне оцінювання геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода для енергозабезпечення тваринницьких приміщень на основі аналітичного узагальнення літературних джерел і побудови радарної діаграми за сукупністю ключових критеріїв ефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати наукові підходи до використання геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода;
- систематизувати дані літературних джерел за основними критеріями ефективності досліджуваних систем;
- визначити переваги та обмеження кожної технології в умовах тваринницьких приміщень;
- побудувати радарну діаграму як візуальне узагальнення результатів аналітичного огляду;
- обґрунтувати вибір більш доцільної системи для практичного використання.

Основна частина. Для визначення оптимальної системи альтернативного енергозабезпечення тваринницьких приміщень доцільно враховувати сукупність технічних, енергетичних, економічних, експлуатаційних та екологічних характеристик. З цією метою на основі аналітичного огляду літературних джерел виконано узагальнене зіставлення геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода, результати якого подано на рис. 1.

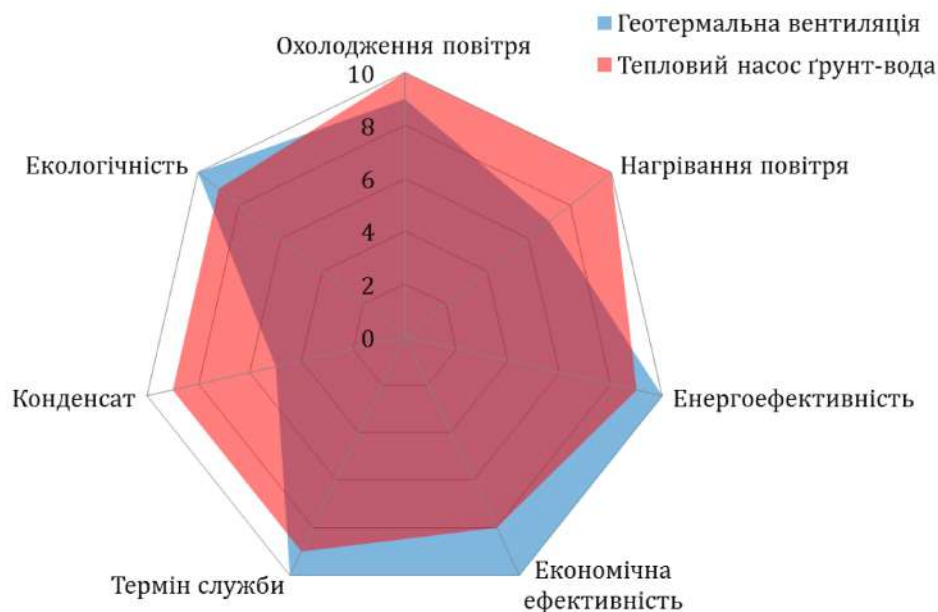


Рис. 1. Порівняння геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода за ключовими критеріями ефективності

Геотермальна вентиляція та тепловий насос ґрунт-вода належать до технологій, що використовують тепловий потенціал ґрунту, проте принципово відрізняються за характером функціонування. Геотермальна вентиляція є пасивною системою, в якій теплообмін між повітрям і ґрунтом відбувається без застосування активних елементів теплоперетворення. Тепловий насос ґрунт-вода, навпаки, є активною системою, у якій нагрів або охолодження теплоносія забезпечується за рахунок роботи компресора, циркуляційного насоса та системи автоматики. Така різниця визначає відмінності між системами за вартістю реалізації, енергоспоживанням, надійністю та експлуатаційними властивостями.

Аналіз рис. 1 показує, що геотермальна вентиляція має переваги за більшістю критеріїв, пов'язаних із ресурсною та експлуатаційною доцільністю. Насамперед це стосується економічної ефективності, оскільки така система характеризується нижчими капітальними та експлуатаційними витратами. Це зумовлено відсутністю складного теплотехнічного обладнання, простішою конструкцією та мінімальним рівнем енергоспоживання в процесі роботи. Для тваринницьких приміщень, де питання зниження виробничих витрат має визначальне значення, ця обставина є вагомим перевагою.



Додатково геотермальна вентиляція вирізняється вищим експлуатаційним ресурсом. Відсутність компресорних та інших складних механічних вузлів зменшує ймовірність технічних відмов і знижує потребу в періодичному сервісному обслуговуванні. У поєднанні з відносно простою схемою реалізації це підвищує загальну надійність системи та робить її привабливою для господарств, що орієнтовані на довготривалу експлуатацію з мінімальними витратами на утримання.

Перевага теплового насоса ґрунт-вода більш чітко проявляється у здатності підтримувати нормативний температурний режим упродовж року. Саме активний принцип роботи забезпечує його вищу ефективність у режимі нагрівання, особливо за несприятливих зовнішніх температур. Це дає змогу розглядати таку систему як більш надійне рішення у випадках, коли першочерговим є гарантоване забезпечення мікроклімату незалежно від сезонних коливань.

Окремим аспектом порівняння є вплив конденсату на роботу систем. У цьому відношенні тепловий насос ґрунт-вода має кращі експлуатаційні характеристики, оскільки процес відведення вологи в ньому конструктивно контрольований. Для геотермальної вентиляції утворення конденсату в підземних повітропроводах може становити суттєвіший експлуатаційний ризик, якщо не передбачено належного дренажу та санітарного контролю.

Разом із тим за критерієм екологічності геотермальна вентиляція має очевидну перевагу. Вона не потребує використання холодоагентів, не пов'язана з ризиком їх витоку в навколишнє середовище та не вимагає активного теплоперетворення. Це відповідає сучасним вимогам до раціонального використання природних ресурсів і зменшення техногенного впливу на довкілля. У контексті тваринницьких приміщень така властивість є особливо важливою, оскільки поєднує енергетичну доцільність із екологічною безпечністю.

Отже, результати, подані на рис. 1, свідчать, що геотермальна вентиляція є більш доцільною для тих випадків, коли пріоритетами є зниження витрат, енергоощадність, експлуатаційна простота та екологічна безпечність. Тепловий насос ґрунт-вода доцільно розглядати як ефективнішу, але більш капіталомістку альтернативу для об'єктів із підвищеними вимогами до стабільного цілорічного підтримання температурного режиму. За сукупністю розглянутих критеріїв саме геотермальна вентиляція має кращі передумови для впровадження в більшості фермерських господарств.

Висновки. Встановлено, що геотермальна вентиляція та тепловий насос ґрунт-вода є двома різними за принципом функціонування технологіями використання теплового потенціалу ґрунту: перша реалізує пасивний теплообмін між повітрям і ґрунтом, друга – активне теплоперетворення із застосуванням компресорного циклу.

Систематизовано результати літературних джерел за сімома ключовими критеріями ефективності: охолодження повітря, нагрівання повітря, енергоефективність, економічна ефективність, термін служби, вплив конденсату на роботу системи та екологічність.

Виявлено, що геотермальна вентиляція має переваги за показниками енергоефективності, економічної ефективності, тривалості експлуатації та екологічної безпечності, тоді як тепловий насос ґрунт-вода забезпечує кращі результати у стабільному підтриманні температурного режиму та контролі конденсату.

На основі результатів аналітичного огляду сформовано узагальнену візуальну модель порівняння геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода у вигляді рисунка, що дало змогу інтегрально відобразити сильні та слабкі сторони обох технологій за ключовими критеріями ефективності.

Обґрунтовано, що для більшості тваринницьких приміщень геотермальна вентиляція є більш доцільним рішенням з огляду на нижчі витрати, простоту експлуатації та вищу екологічну безпечність, тоді як тепловий насос ґрунт-вода слід розглядати як ефективнішу, але



більш капіталомістку альтернативу для об'єктів із підвищеними вимогами до гарантованого цілорічного підтримання температурного режиму.

Список використаних джерел

1. Vanbalinghem L., Arulnathan V., Costantino A., Pelletier N. Comparative life cycle assessment of alternative heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems for poultry houses. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 383. Art. 125541. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125541
2. Vanbalinghem L., Costantino A., Grassauer F., Pelletier N. Alternative Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) System Considerations for Reducing Energy Use and Emissions in Egg Industries in Temperate and Continental Climates: A Systematic Review of Current Systems, Insights, and Future Directions. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. Art. 4895. DOI: 10.3390/su16124895
3. Aresti L., Florides G. A., Skaliontas A., Christodoulides P. Environmental Impact of Ground Source Heat Pump Systems: A Comparative Investigation From South to North Europe. *Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 8. Art. 914227. DOI: 10.3389/fbuil.2022.914227
4. Casasso A., Sethi R. Assessment and Minimization of Potential Environmental Impacts of Ground Source Heat Pump (GSHP) Systems. *Water*. 2019. Vol. 11. Art. 1573. DOI: 10.3390/w11081573
5. Koshlak H. A Review of Earth-Air Heat Exchangers: From Fundamental Principles to Hybrid Systems with Renewable Energy Integration. *Energies*. 2025. Vol. 18. Art. 1017. DOI: 10.3390/en18051017
6. Congedo P. M., Baglivo C., Bonuso S., D'Agostino D. Numerical and experimental analysis of the energy performance of an air-source heat pump (ASHP) coupled with a horizontal earth-to-air heat exchanger (EAHX) in different climates. *Geothermics*. 2020. Vol. 87. Art. 101845. DOI: 10.1016/j.geothermics.2020.101845
7. Lu Q., Narsilio G. A., Aditya G. R., Johnston I. W. Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne. *Energy*. 2017. Vol. 125. P. 107–117. DOI: 10.1016/j.energy.2017.02.082
8. Mostafaeipour A., Goudarzi H., Khanmohammadi M., Jahangiri M., Sedaghat A., Norouzianpour H., Chowdhury S., Techato K., Issakhov A., Almutairi K., Hosseini Dehshiri S. J. Techno-economic analysis and energy performance of a geothermal earth-to-air heat exchanger (EAHE) system in residential buildings: A case study. *Energy Science & Engineering*. 2021. Vol. 9. P. 1807–1825. DOI: 10.1002/ese3.952
9. Diedrich C. H., Santos G. H. dos, Carraro G. C., Dimbarre V. V., Alves T. A. Numerical and Experimental Analysis of an Earth–Air Heat Exchanger. *Atmosphere*. 2023. Vol. 14. Art. 1113. DOI: 10.3390/atmos14071113
10. Pakari A., Ghani S. Performance evaluation of a near-surface earth-to-air heat exchanger with short-grass ground cover: an experimental study. *Energy Conversion and Management*. 2019. Vol. 201. Art. 112163. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112163
11. Yang D., Guo Y., Zhang J. Evaluation of the thermal performance of an earth-to-air heat exchanger (EAHE) in a harmonic thermal environment. *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 109. P. 184–194. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.11.050.
12. Benhammou M., Draoui B. Parametric study on thermal performance of earth-to-air heat exchanger used for cooling of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 44. P. 348–355. DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.030
13. Niu F., Yu Y., Yu D., Li H. Heat and Mass Transfer Performance Analysis and Cooling Capacity Prediction of Earth to Air Heat Exchanger. *Applied Energy*. 2015. Vol. 137. P. 211–221. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.10.008
14. Arghand T., Javed S., Dalenbäck J.-O. Combining direct ground cooling with ground-source heat pumps and district heating: Energy and economic analysis. *Energy*. 2023. Vol. 270. Art. 126944. DOI: 10.1016/j.energy.2023.126944
15. Dai L., Li S., DuanMu L., Li X., Shang Y., Dong M. Experimental performance analysis of a solar assisted ground source heat pump system under different heating operation modes. *Applied Thermal Engineering*. 2015. Vol. 75. P. 325–333. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.061
16. Ozgener L. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. P. 4483–4490. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.103
17. Benhammou M., Draoui B., Zerrouki M., Marif Y. Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate. *Energy Conversion and Management*. 2015. Vol. 91. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.11.042



18. Morshed W., Abbas L., Nazha H. Heating performance of the PVC earth-air tubular heat exchanger applied to a greenhouse in the coastal area of west Syria: An experimental study. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2022. Vol. 27. Art. 101000. DOI: 10.1016/j.tsep.2021.101000
19. Wei S., Wang H., Tian Y., Man X., Wang Y., Zhou S. Energy efficiency optimization analysis of a ground source heat pump system based on neural networks and genetic algorithms. *Geothermal Energy*. 2024. Vol. 12. Art. 43. DOI: 10.1186/s40517-024-00325-2
20. Greco A., Masselli C. The Optimization of the Thermal Performances of an Earth to Air Heat Exchanger for an Air Conditioning System: A Numerical Study. *Energies*. 2020. Vol. 13. Art. 6469. DOI: 10.3390/en13236469
21. Zeitoun W., Lin J., Siroux M. Energetic and Exergetic Analyses of an Experimental Earth–Air Heat Exchanger in the Northeast of France. *Energies*. 2023. Vol. 16. Art. 1542. DOI: 10.3390/en16031542
22. Ali N. B., Djuansjah J., Omar I. [та ін.]. Performance and cost-benefit analysis of an integrated earth-air heat exchanger and air handling unit system. *Scientific Reports*. 2025. Article in press. DOI: 10.1038/s41598-025-32275-5
23. Patin M., Rousse D. R. Optimizing economic performances of foundation earth-to-air heat exchangers for low-technology residential air-conditioning. *Energy and Buildings*. 2025. Vol. 328. Art. 115250. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.115250
24. Sakhri N., Kifouche A., Kaddour A., Chenini N., Larguech S., Chambashi G., Kaid N., Menni Y. Thermal and economic performance of an earth–air heat exchanger system for indoor climate control in arid winter environments. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2025. Vol. 20. P. 855–864. DOI: 10.1093/ijlct/ctaf046
25. Basok B., Pavlenko A., Nedbailo A., Bozhko I., Novitska M., Koshlak H., Tkachenko M. Analysis of the Energy Efficiency of the Earth-To-Air Heat Exchanger. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2022. Vol. 24. P. 202–213. DOI: 10.54740/ros.2022.015
26. Rosa N., Santos P., Costa J. J., Gervásio H. Modelling and performance analysis of an earth-to-air heat exchanger in a pilot installation. *Journal of Building Physics*. 2018. Vol. 42. DOI: 10.1177/1744259117754298
27. D’Agostino D., Esposito F., Greco A., Masselli C., Minichiello F. The Energy Performances of a Ground-to-Air Heat Exchanger: A Comparison Among Köppen Climatic Areas. *Energies*. 2020. Vol. 13. Art. 2895. DOI: 10.3390/en13112895
28. Elminshawy N. A. S., Siddiqui F. R., Farooq Q. U., Addas M. F. Experimental investigation on the performance of earth-air pipe heat exchanger for different soil compaction levels. *Applied Thermal Engineering*. 2017. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.06.119
29. El-Said E. M. S., Abdelaziz G. B., Abdelhady M. I., Shokry N., Mohamed S., Dahab M. A. Experimental investigation of earth-air heat exchanger using porous clay vessels for eco-friendly. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 17548. DOI: 10.1038/s41598-024-67212-5.
30. Hamdane S., Pires L. C. C., Silva P. D., Gaspar P. D. Evaluating the Thermal Performance and Environmental Impact of Agricultural Greenhouses Using Earth-to-Air Heat Exchanger: An Experimental Study. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Art. 1119. DOI: 10.3390/app13021119.

Дата першого надходження статті до видання: 29.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)





O. Koviazin, A. Panchenko, I. Chyzhykov, O. Dereza, S. Dereza
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**COMPARATIVE EVALUATION OF GEOTHERMAL VENTILATION
AND A GROUND-TO-WATER HEAT PUMP FOR ENERGY SUPPLY
IN LIVESTOCK BUILDINGS**

Summary

This article presents a comparative evaluation of geothermal ventilation and a ground-to-water heat pump as alternative systems for the energy supply of livestock buildings. The relevance of the study is determined by the need to reduce energy consumption, lower operating costs, and maintain standard microclimate parameters under conditions of rising energy prices and stricter environmental requirements in agricultural production. The purpose of the study is to substantiate the feasibility of geothermal ventilation by comparing it with a ground-to-water heat pump according to key technical, energy, economic, operational, and environmental characteristics. The study is based on an analytical review of scientific literature followed by the generalization of the obtained results according to seven efficiency criteria: air cooling, air heating, energy efficiency, economic efficiency, service life, the impact of condensate on system operation, and environmental safety. On this basis, an integrated graphical comparison model was developed to visualize the strengths and weaknesses of the studied systems. The results show that geothermal ventilation has advantages in terms of energy efficiency, economic feasibility, service life, and environmental safety due to its passive operating principle, lower capital and operating costs, simpler design, and the absence of refrigerants. At the same time, the ground-to-water heat pump demonstrates better performance in maintaining a stable temperature regime throughout the year and in controlling processes related to condensate formation and removal. It is substantiated that geothermal ventilation is the more appropriate solution for most livestock buildings because of its lower costs, operational simplicity, and greater environmental safety, whereas a ground-to-water heat pump should be considered a more efficient but also more capital-intensive alternative for facilities with higher requirements for guaranteed year-round temperature control.

Keywords: alternative energy supply, earth-to-air heat exchanger, microclimate, energy efficiency, economic efficiency, environmental safety.