

УДК 622.741.3.022+622.7+620.133

асистент **Володимир Вахула**

v.vahula@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7973-6421

студентка **Дар'я Мамрикова**,

mrkv.darya@gmail.com, ORCID: 0009-0006-5925-2175

студент **Денис Юзьков**,

yuzkovden@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2857-7325

Київський національний університет будівництва і архітектури

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2026.57.156-184>

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРООБМІНУ

***Анотація.** Забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату у приміщеннях за допомогою механічних, припливно-витяжних систем вентиляції повітря є найрозповсюдженішим методом. У даній сфері існують різні варіанти подавання зовнішнього повітря, кожен із яких може запропонувати більш ефективні рішення залежно від того, який тип приміщення і які він несе експлуатаційні завдання. Основним чинником розробки системи вентиляції — це видалення з нього шкідливих надходжень, які з часом накопичуються в повітрі, і заміна видаляючого повітря новим, припливним. Розрізняються такі найрозповсюдженіші типи шкідливих надходжень в приміщення, а саме: запахи, тепло, волога, CO₂, аерозолі, хімічно небезпечні елементи, пилові частинки. Для певного типу забруднюючих чинників, і також, в залежності від параметрів експлуатації приміщення, необхідно підбирати відповідний метод повітрообміну. Для того, щоб гарантувати комфортне перебування людей в робочій зоні приміщення, що, своєю чергою, дозволить запобігти поганому самопочуттю людей. У даній статті представлені різні варіанти організації подачі та видалення повітря в приміщенні, залежно від способу подавання та видалення повітря, конфігурації та розташування повітророзподільників в приміщенні. Для винесення висновків, буде представлена їхня візуалізація, яка в свою чергу, була змодельована методами обчислювальної гідродинаміки.*

***Ключові слова:** змішувальна вентиляція; витісняюча вентиляція; повітрообмін; повітророзподілення; стратифікація, ефект Коанда.*

Вступ. Система вентиляції — це ключовий фактор для комфортного перебування людей у приміщенні. Ефективний повітрообмін базується на ретельному аналізі, виборі способу подавання та видалення повітря, а також розташування повітророзподільників у приміщенні. Кожен окремо взятий тип приміщення має свої певні надходження шкідливостей, які потрібно

гарантовано видаляти з приміщення. Моделювання в програмному забезпеченні обчислювальної гідродинаміки дозволить проаналізувати та внести коригувальні рішення для перегляду системи повітророзподілення в приміщенні, а також оцінювати ефективність типів систем повітрообміну.

Актуальність дослідження. З початку промислової революції та накопичення забрудників у різних типах приміщень було поставлено завдання забезпечити оптимальні параметри мікроклімату. Це своєю чергою призвело до масштабного впровадження систем вентиляції. Сьогодні потребує постійного покращення систем та економії. Мета даного дослідження – аналізування різних варіантів організації повітророзподілення у відносно невеликому за габаритними розмірами приміщення конференц-зали офісної будівлі.

Формулювання цілей статті. Головна задача даної статті – наочне оцінювання ефективності наявних рішень повітророзподілення, що дозволяє внести коригування в підходах до організування вентиляції.

Основна частина. У цій статті розглядаються різноманітні методи розподілення повітря в приміщенні конференц-залу, зокрема витісняюча та змішувальна вентиляція. Витісняюча вентиляція [1, 2] – ефективний метод забезпечення нормативних параметрів мікроклімату. Принцип полягає в тому, що припливне повітря подається до нижньої зони приміщення, витісняючи за допомогою конвективних потоків від теплогенераційних поверхонь нагріте повітря до верхньої частини приміщення, де воно видаляється витяжними пристроями системи вентиляції. За даного принципу повітророзподілення повітря розділяється на шари де повітря має різну густину. Даний ефект називається стратифікацією та забезпечує комфортні умови праці. Однак в [1] підкреслено і негативні ефекти, які утворюються при витісняючій вентиляції. В умовах високого теплонапруження в приміщенні:

- можливе виникнення застійних зон;
- нерівномірне розподілення припливного повітря в приміщенні;
- локальне перегрівання окремих місць;
- накопичення забруднювальних речовин у верхніх шарах приміщення і в подальшому їхнє перетікання донизу низхідними потоками.

Це знижує привабливість витісняючого типу системи вентиляції та погіршить загальні умови мікроклімату в приміщенні.

Також буде розглядатися змішувальна вентиляція. Вона базується на способі подавання припливного повітря вище робочої зони приміщення з певною швидкістю. Даний метод утворює турбулентні потоки повітря, під дією яких змішується припливне повітря з повітрям робочої зони. Це має призводити до відносно рівномірного розподілення температури, припливного повітря та

розбавлення концентрації забруднювачів у всьому об'єму приміщення і з подальшим їхнім видаленням. Головна перевага даного методу полягає в простоті як при монтажі, так і при проектуванні. Капітальні витрати на даний тип системи також менші.

Для дослідження моделювання потоку було обрано невеликий конференц-зал. Основним джерелом теплонадходжень є люди. Вибір правильної системи повітророзподілення має ключове значення для забезпечення відповідного повітророзподілення, що своєю чергою сприятиме комфортному мікроклімату в приміщенні.

Для візуального аналізу ефективності повітророзподілення в приміщенні конференц-зали (рис. 1) було розроблено три моделі з різними конфігураціями повітророзподільників та методами розподілу повітря. Моделювання виконуватиметься за допомогою стандартної k - ϵ моделі турбулентності. Для цього створюватимуться тривимірні моделі течій повітря в приміщенні. Візуалізації дозволять наочно оцінити швидкість, температуру, відповідно тепло- та масообмінні процеси, а також їхній загальний вплив на мікроклімат у приміщенні.

Перша модель – змішувальна вентиляція. Повітря подається до верхньої зони, а потім видаляється крізь витяжні пристрої в тій же зоні. Цей спосіб простий та економічний з огляду капітальних вкладень. Він має забезпечувати відносно рівномірне розподілення параметрів повітря в приміщенні. Модель розроблялася згідно з методикою проектування систем вентиляції [3].

Друга модель ілюструє витісняючу вентиляцію з трьома плоскими тумбами для подавання повітря в нижній частині приміщення. Видалення повітря відбувається з протилежної верхньої частини за допомогою витяжних пристроїв. Припливне повітря надходить безпосередньо до нижньої частини робочої зони, піднімається конвективними потоками вгору, а відпрацьоване повітря видаляється.

Третя модель розроблена також на основі витісняючої вентиляції, але з двома повітророзподільниками без однієї середньої тумби. Це дозволить дослідити вплив змінення конфігурації системи на якість повітророзподілення та на мікрокліматичні параметри приміщення.

Приміщення має параметри:

- довжина 12 м;
- ширина 6 м;
- кількість осіб 4.

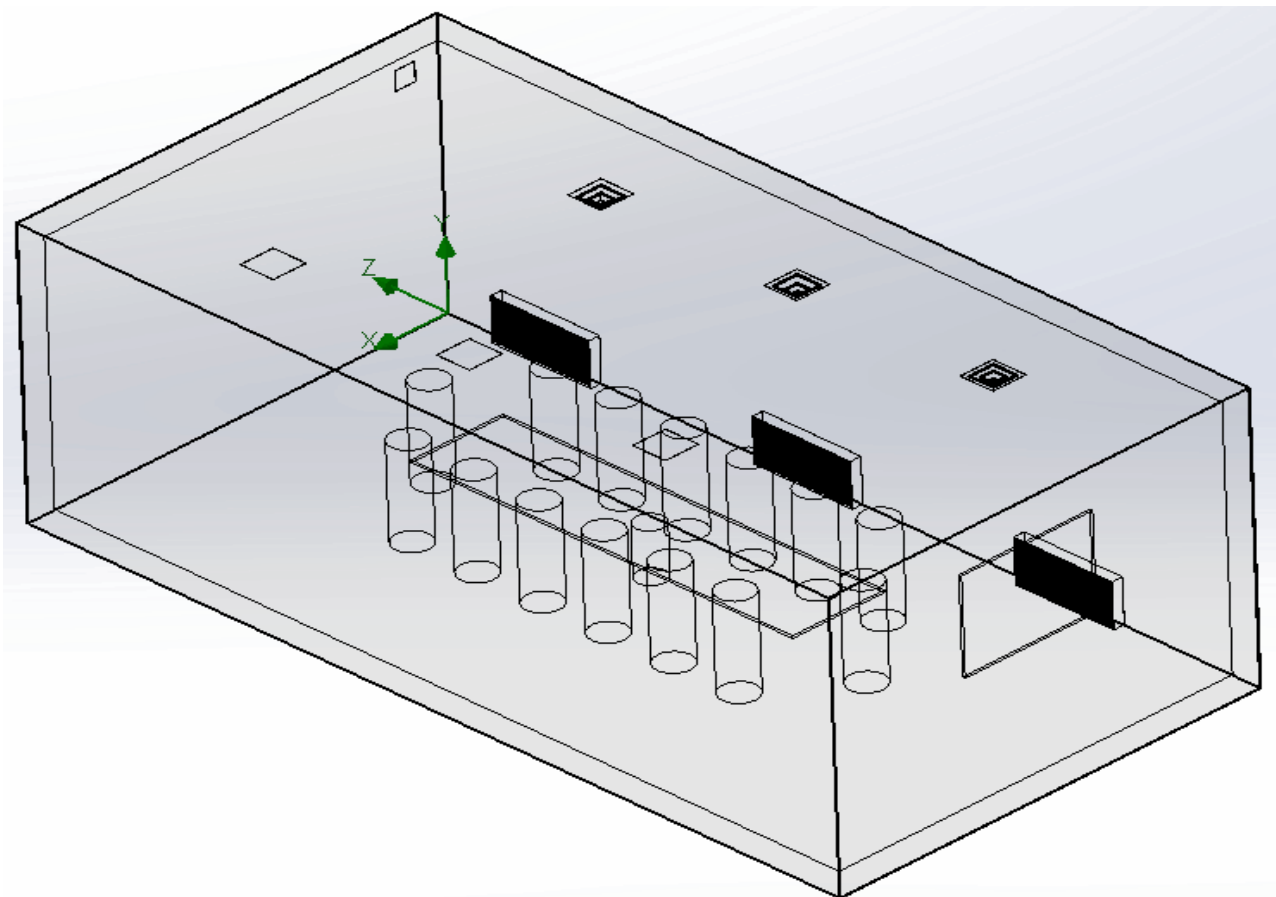


Рис. 1. Приміщення конференц-зали

Перед моделюванням було розраховано тепловологонадходження від людей, освітлення та обладнання. Методика розрахунку була взята з джерела [3]. Потрібний повітрообмін в приміщення становив $645 \text{ м}^3/\text{год}$ або $0,6 \text{ кг/с}$. Дане значення було внесено як витрата припливного повітря з дифузорів і тумб. Для витяжного повітря було обрано граничну умову — Environmental pressure (тиск навколишнього середовища). Ця умова дозволяє задати поверхню нульового надлишкового тиску. Для моделювання тепловиділень від людей, їх було замінено еквівалентними умовними циліндрами з тим же рівнем тепловиділень, застосованих до поверхонь [3], [6], [7].

Для моделювання граничні умови температури припливного повітря не змінюються у всіх моделях задля більш детального розгляду впливу потоків повітряних мас. При цьому буде показано, як тип системи повітророзподілення впливає на параметри мікроклімату, а не температура припливного повітря.

Для першої моделі змішувальної вентиляції, було змодельовано три моделі припливних повітророзподільників, які будуть відтворювати роботу реальних. Мета даного моделювання наочно відтворити процеси тепломасообміну в приміщенні змішувального типу вентиляції.

Для більш достовірних результатів було обрано 700 ітерацій для кожної моделі. На рис. 2 показано кольорові шкали, а на рис. 3-12 – результати моделювання.

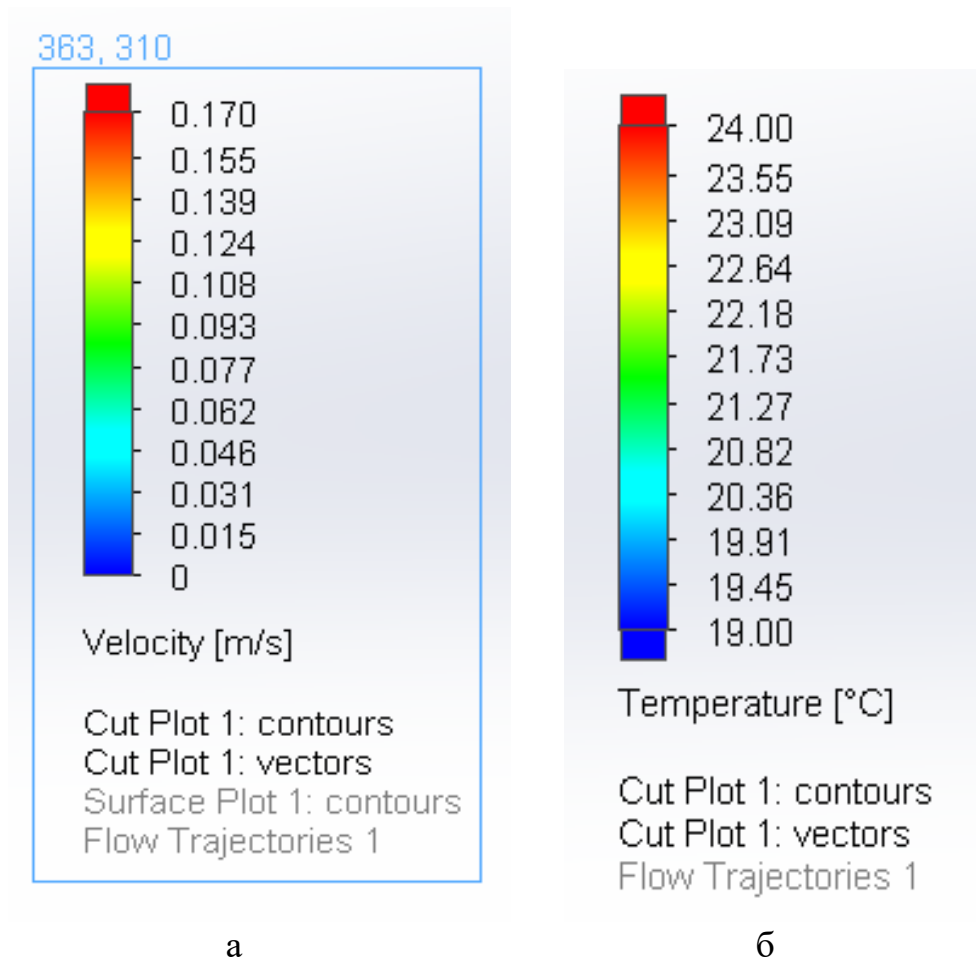


Рис. 2. Температурні шкали параметрів в моделюванні змішувальної вентиляції: а – швидкість, б – температура

Аналіз результатів моделювання показує, що швидкість повітря на виході з повітророзподільника (рис. 3) становить біля 0,4 м/с. Це значення вже відповідає розрахунковій швидкості на виході з дифузора. Проте навіть за цих параметрів у нижній зоні приміщення повітряна струмина рухається зі швидкістю 0,2 м/с. Також виникають локальні зони дискомфорту, наприклад, для людей, які стоять безпосередньо під повітророзподільником, що видно на рис. 4. У приміщенні утворюються циркуляційні потоки, які взаємодіють з припливною струминою, що змінює її напрямок.

На рис. 4 видно нерівномірний розподіл швидкісний повітря. У місці під дифузором, де припливне повітря безпосередньо контактує з підлогою, швидкість становить 0,22 м/с.

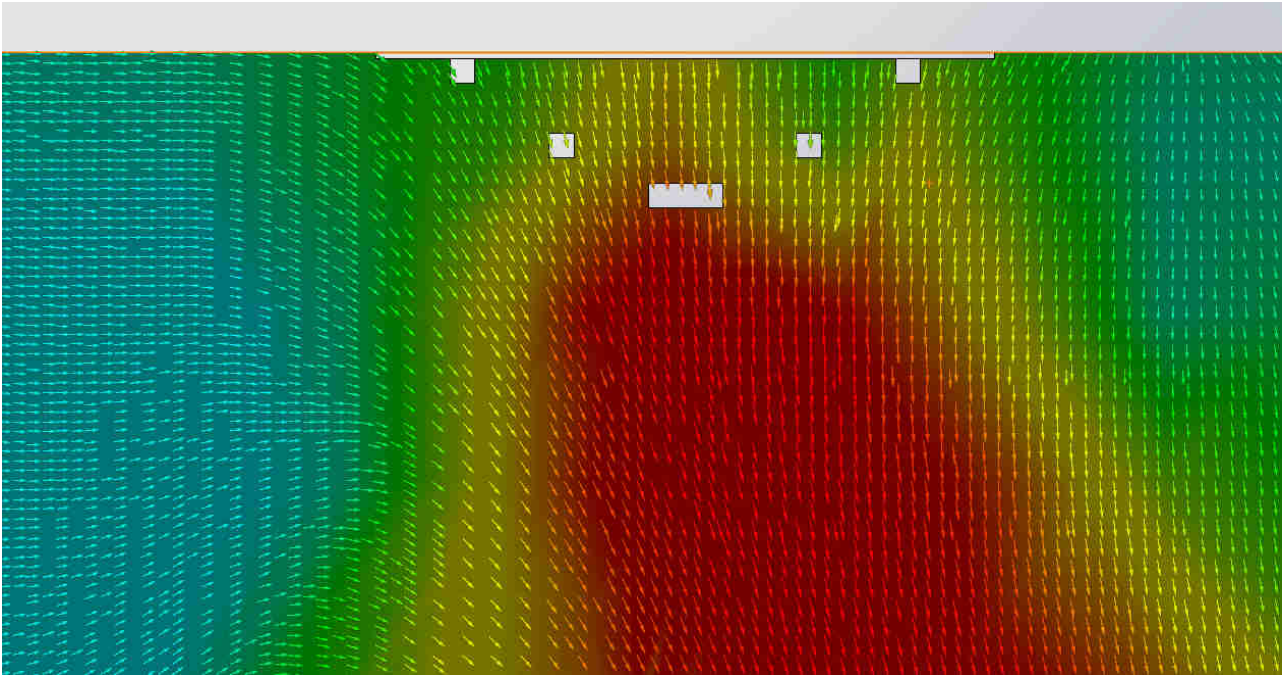


Рис. 3. Розріз за припливним повітророзподільником змішувальної вентиляції по-середині, швидкість повітря

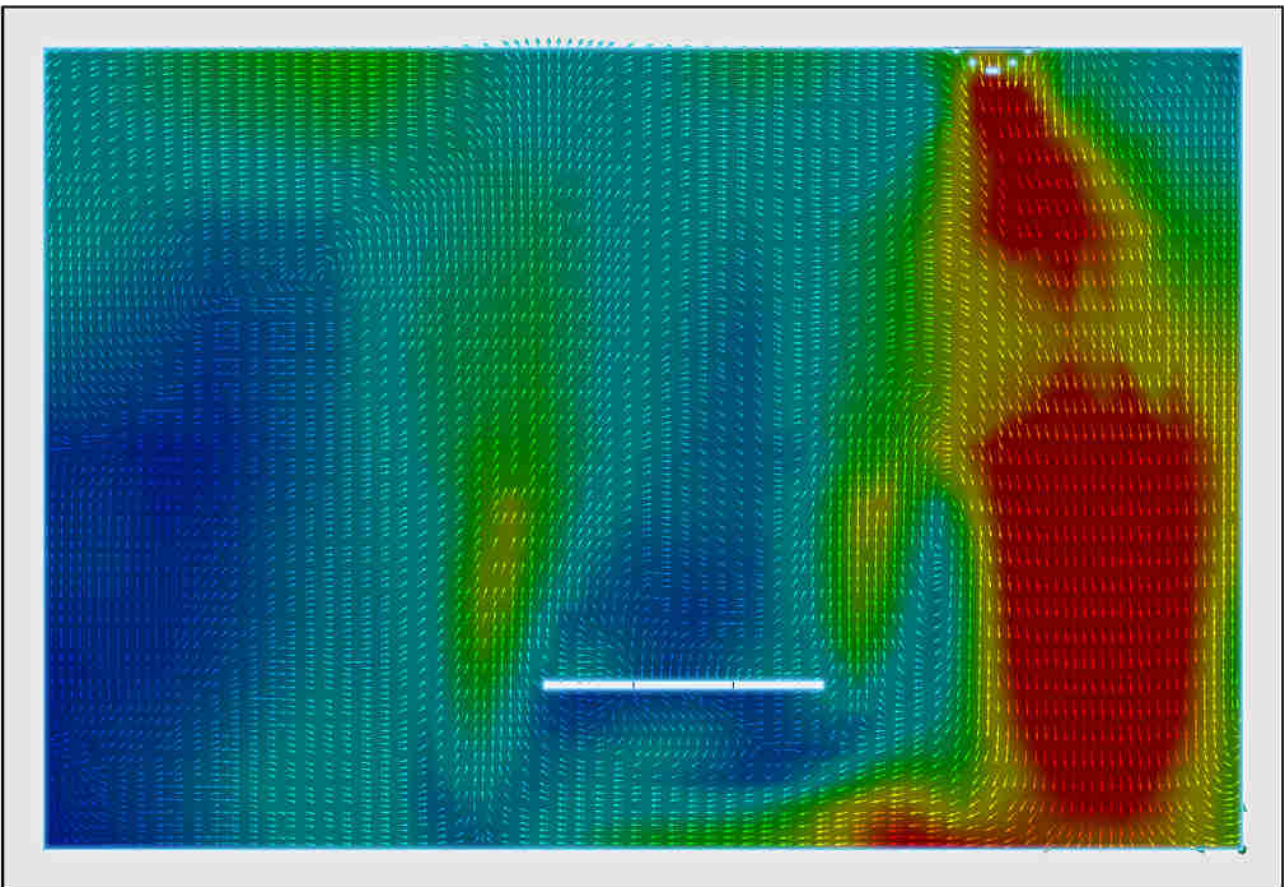


Рис. 4. Розріз за припливним повітророзподільником змішувальної вентиляції, зсунутий, швидкість повітря

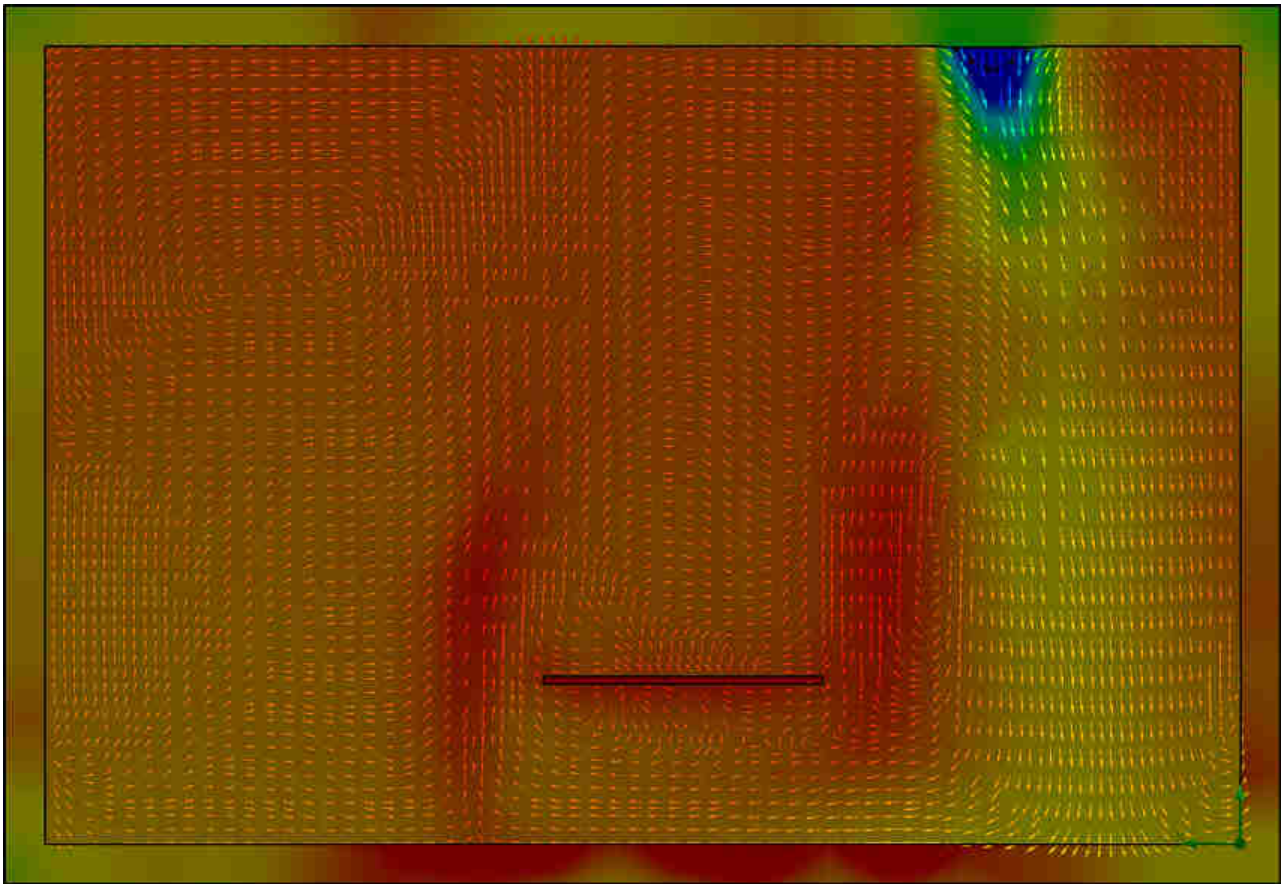


Рис. 5. Розріз за припливним повітророзподільником змішувальної вентиляції, температура

У протилежній частині кімнати спостерігаються утворення значних зон застою повітря. Також частина повітряних потоків, які утворені конвекцією від людей, рухаються в бік припливної струмени і відхиляють її в бік огорожувальної конструкції. Дане явище може позитивно вплинути на загальне сприйняття людьми мікроклімату, адже основна струмина оминає людей. Але може викликати перетікання біоаерозолів, запахів чи інших видів забруднювачів повітря.

Згідно з рис. 5 видно утворення нерівномірного розподілення теплоти та параметрів повітря в приміщенні з утворенням циркуляційних течій. При змішувальному способі вентиляції можуть виникати зони переохолодження або перегрівання.

Головна мета системи – підтримання оптимальних мікрокліматичних умов регламентованим джерелом [4]. Для аналізу на рис. 6 наведено розподілення температури та швидкості приміщення в різних точках. Згідно з додатком К джерела [4], параметри припливного повітря в робочій зоні задовольняють нормативним вимогам.

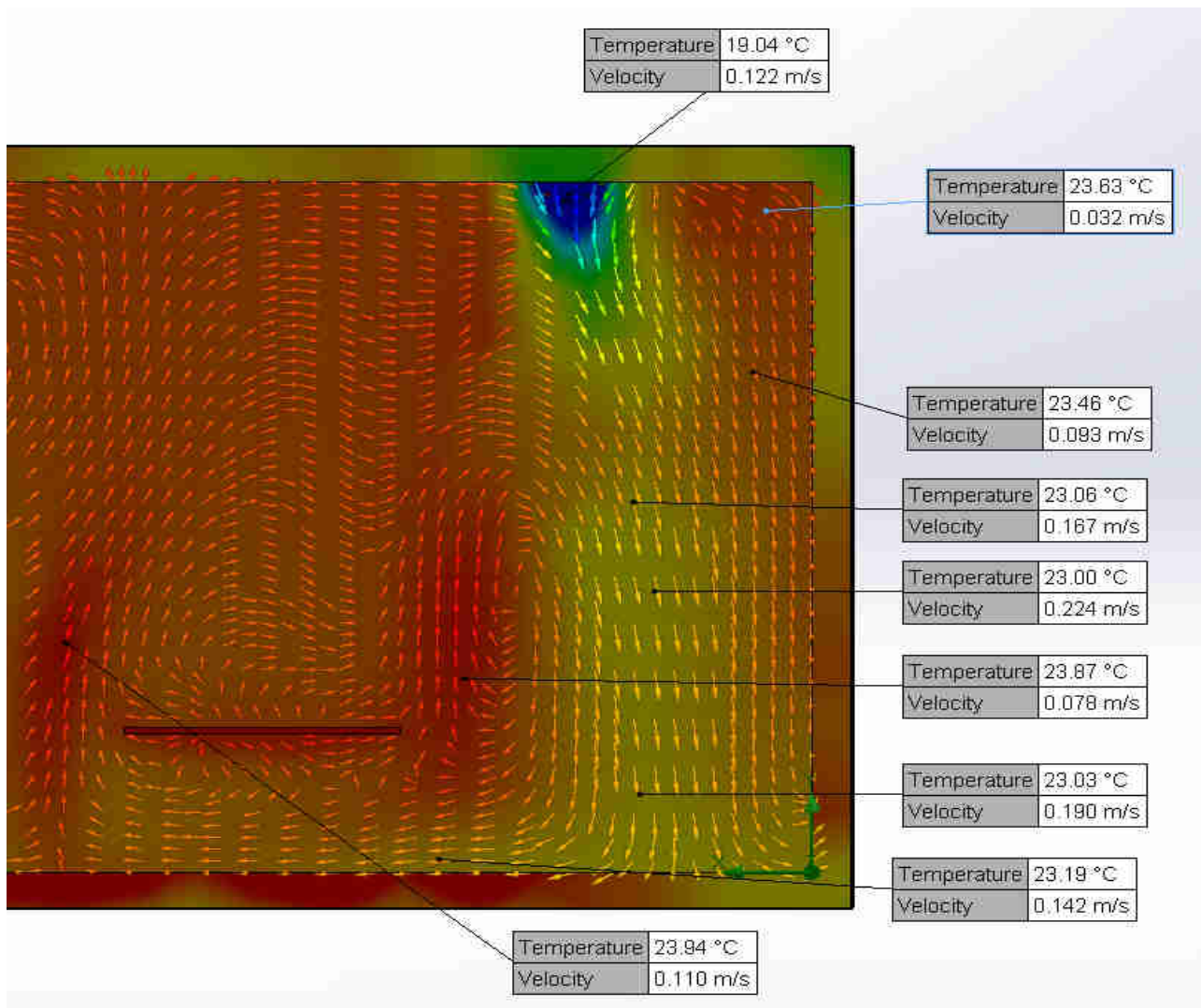


Рис. 6. Температура повітря в різних точках приміщення при змішувальній вентиляції

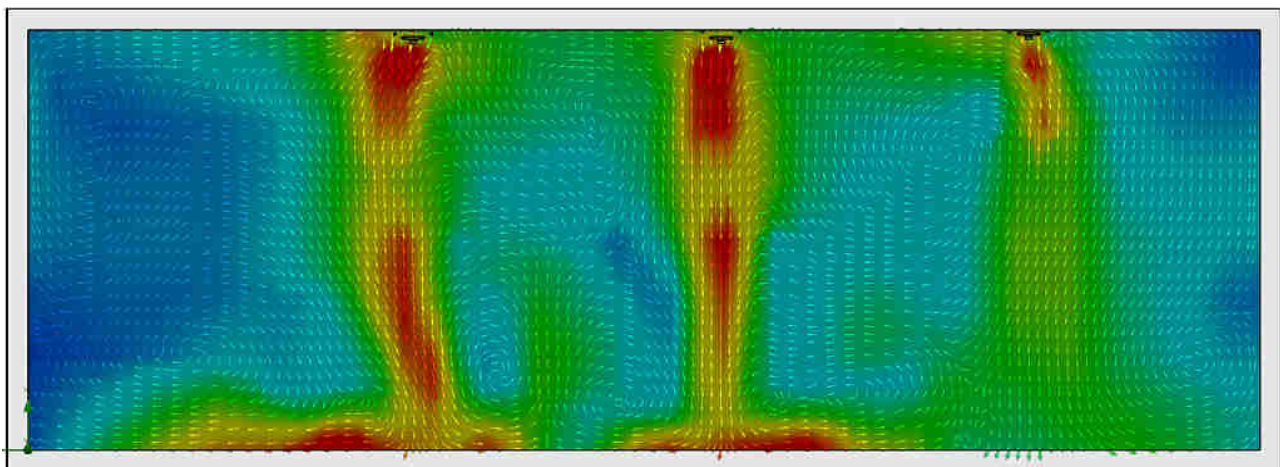


Рис. 7. Поперечний розріз уздовж осі розташування припливних дифузорів змішувальної вентиляції, швидкість повітря

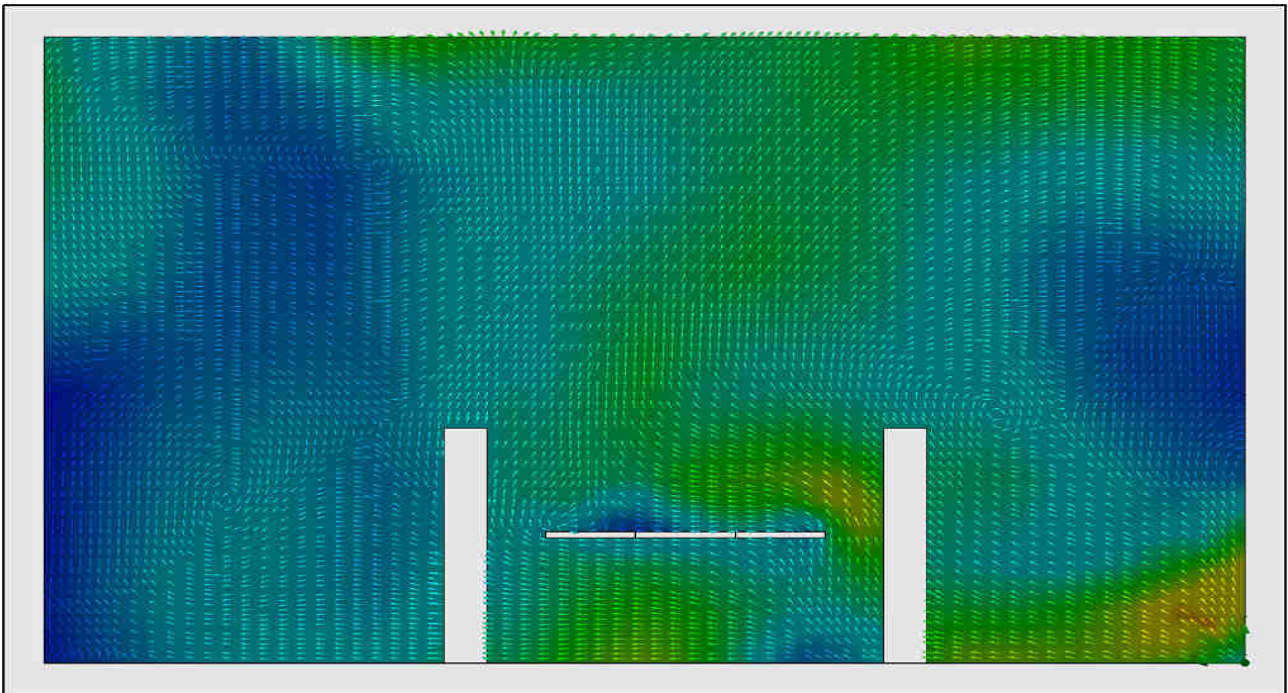


Рис. 8. Розріз приміщення, рівновіддалено розташований між припливними повітророзподільниками змішувальної вентиляції, швидкість повітря

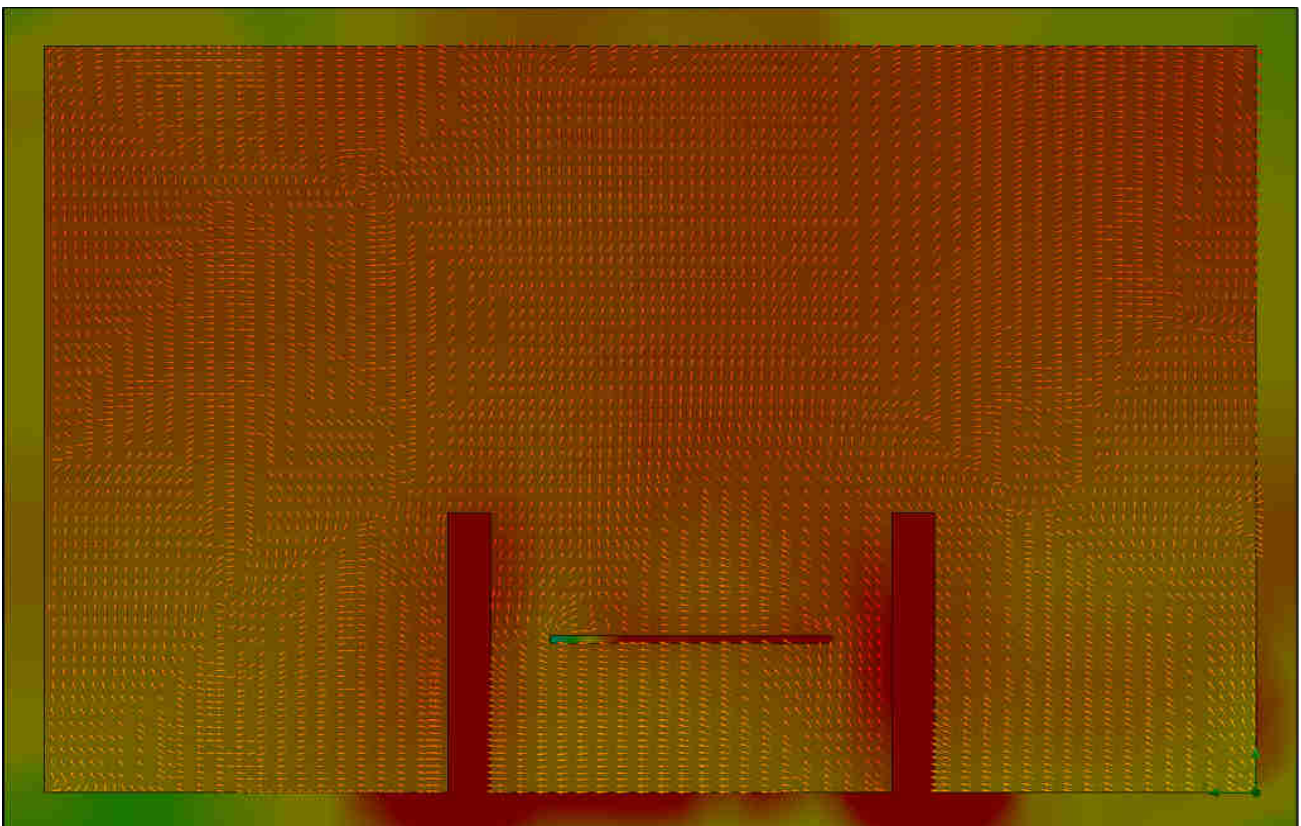


Рис. 9. Розріз приміщення, рівновіддалено розташований між припливними повітророзподільниками змішувальної вентиляції, температура

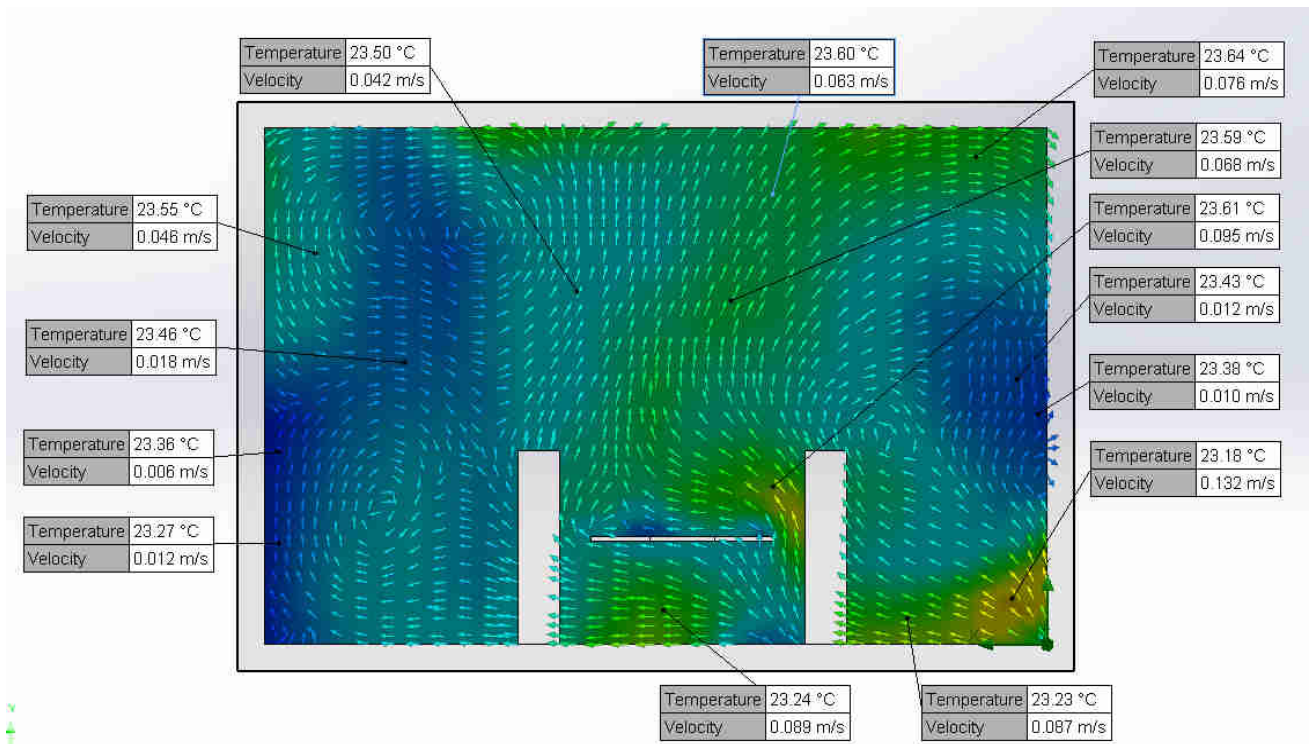


Рис. 10. Параметри повітря в різних точках приміщення, швидкість повітря

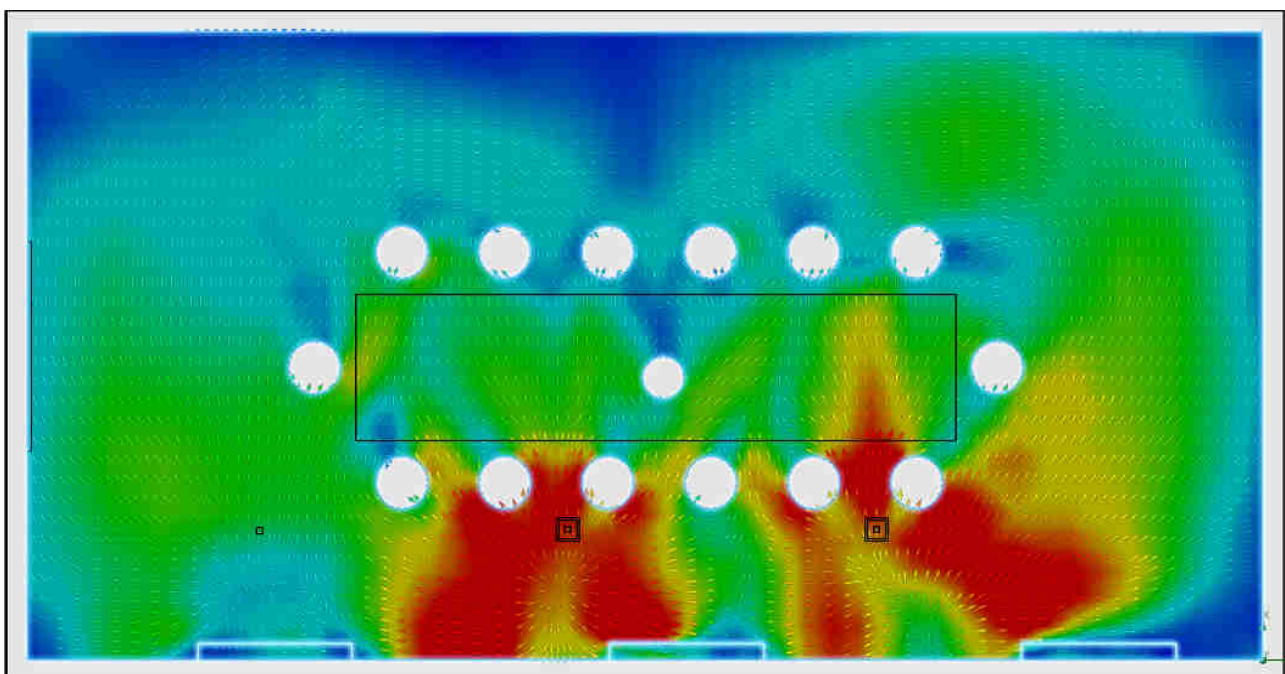


Рис. 11 Горизонтальний розріз при змішувальній вентиляції приміщення на висоті +0,100 м, швидкість повітря

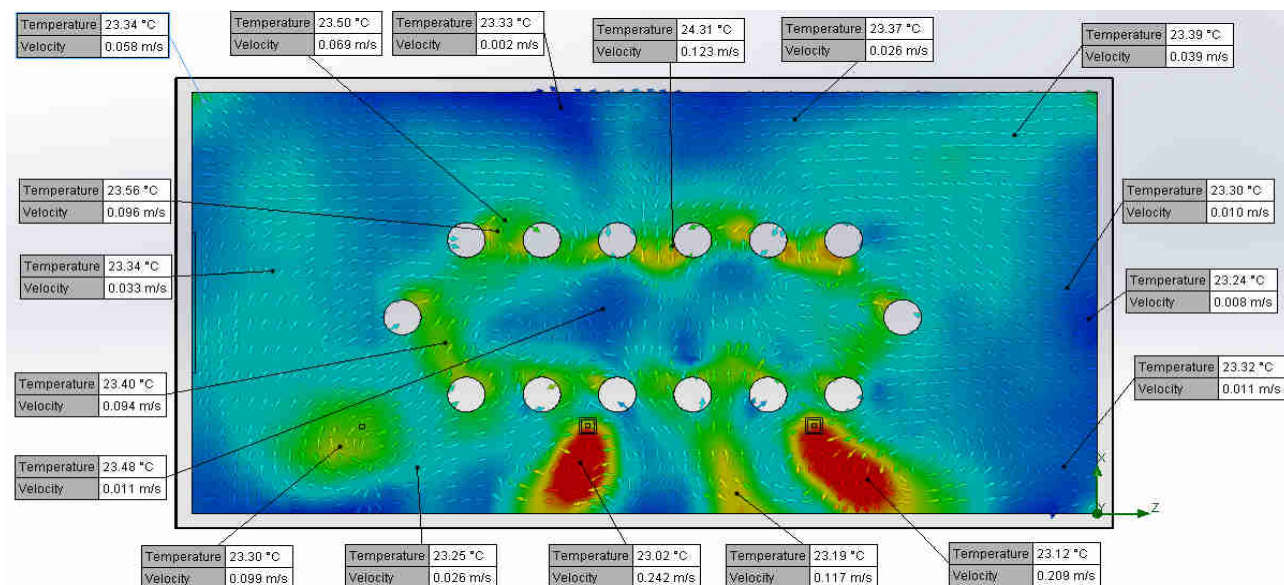


Рис. 12. Горизонтальний розріз при змішувальній вентиляції приміщення на висоті +1,500 м, швидкість повітря

Температура повітря рідко перетинає межу 23,8 °С, відповідно це задовольняє розрахунковий температурний режим у приміщенні. Відповідно змішувальна вентиляція в даному випадку забезпечує всі умови, які від неї вимагаються.

На рис. 8 показано поведінку струмини повітря в зоні, рівновіддаленій від припливних дифузорів. Перетікання повітря відбувається в основному за наявності конвекції або від відбиття припливної струмини припливного повітря.

Спостерігається, що в лівому боці приміщення конференц-зали спостерігалось утворення зони застою повітря, швидкість повітря в якій приблизно дорівнює нулю (рис. 10, 11). Застій повітря займає певну зону приміщення, у якій швидкість повітряних мас наближена до мінімальних параметрів, а циркуляція в даних зонах повітря майже відсутня. У таких зонах приміщення може відбуватися неконтрольоване скупчення надлишкової кількості теплоти, вологи, біоаерозолів чи запахів, а за певних технологічних процесах – навіть небезпечних хімічних елементів.

Залежно від призначення приміщення, у якому можуть відбуватися специфічні процеси, важливо постійно підтримувати параметри мікроклімату. Для прикладу для особливих об'єктів [5], як-от музеї, бібліотеки чи архіви, така системи може бути не придатною. Застій повітря зазвичай трапляється в зонах приміщення, де відбувається зміна геометрії. Неправильно розміщені повітророзподільники можуть спричинити значні проблеми. Відносно невеликі габарити приміщення створюють стиснуті умови розвитку струмини (рис. 4).

У то же час на рис. 9 спостерігається більш рівномірний та прийнятний

розподіл температури в розрізі приміщення, рівновіддаленого від повітророзподільників. На рис.10 показано приклад майже ідеального мікроклімату в приміщенні. Повітря рівномірно розподілене робочою зоною приміщення, температура та швидкість повітряного потоку залишаються стабільними. Це забезпечує комфорт користувача та відповідає нормативним вимогам.

Локальні зони перегрівання чи переохолодження практично відсутні, температура приміщення не перетинає позначку 24 °С. Це демонструє задовільну роботу системи вентиляції змішувального типу, що створює оптимальні умови для продуктивної роботи та зберігатиме здоров'я працівників, які перебуватимуть в приміщенні конференц-залу. Застійні зони спостерігаються тільки біля протилежної від припливного дифузора стіни. Незважаючи на прийнятний результат моделювання змішуючої вентиляції. Цей метод може не підійти для приміщень зі значно суворішими вимогами до мікроклімату. У таких випадках потрібні додаткові дослідження та розроблення складніших конфігурацій вентиляційних систем, щоб забезпечити відповідність нормативним вимогам та безперервний контроль параметрів повітря.

На рис.11 наведено розподілення швидкості повітряного потоку в приміщенні в розрізі +0,100 м від підлоги приміщення. Робоча зона, в основному, вентилюється добре з забезпеченням комфортного мікроклімату в приміщенні. І навпаки, повітря в певних точках приміщення застоюється, що може бути проблематичним залежно від типу діяльності та використання приміщення. У цих зонах залежно від призначення та виду експлуатації, в застійних зонах буде відбуватися постійне накопичення, осідання частинок пилу, аерозолів, небажаних хімічних речовин або твердих часток, які можуть осідати в легенях людей чи погіршувати технологічний процес. В нашому моделюванні, це не є критично, основні види негативних факторів, що можуть вплинути на загальні параметри мікроклімату, теплота, волога чи CO₂.

Якщо зіставити рис.11 і 12, стане видно, що повітря спочатку розподіляється по всій площині приміщення, а потім підіймається вгору вздовж діагоналі в бік центра приміщення, де знаходиться температурне ядро і, відповідно, дихають люди. Такий тип повітророзподілення повністю не дозволить уникнути утворення застійних зон і не завжди підтримуватиме стабільний мікроклімат у приміщенні.

Таким чином, змішувальна вентиляція, незважаючи на певний рівень своєї неефективності, залишається прийнятним варіантом для конференц-залу. Вона забезпечує відповідність нормативним вимогам. Вона залишається збалансованим та економним рішенням з огляду капітальних вкладень.

Витісняюча вентиляція, як відомо, сприяє ефекту вертикальної стратифікації, коли повітря розділяється на шари з різною температурою і густиною. Проте згідно з результатами моделювання системи витісняючої вентиляції (рис. 13-23) з трьома тумбами повітророзподілення можна спостерігати ефект описаний в [1] – утворення зон розрідження між потоками повітря, що спричиняють підсмоктування перегрітого повітря з верхньої зони. Відповідно, виникають циркуляційні течії.

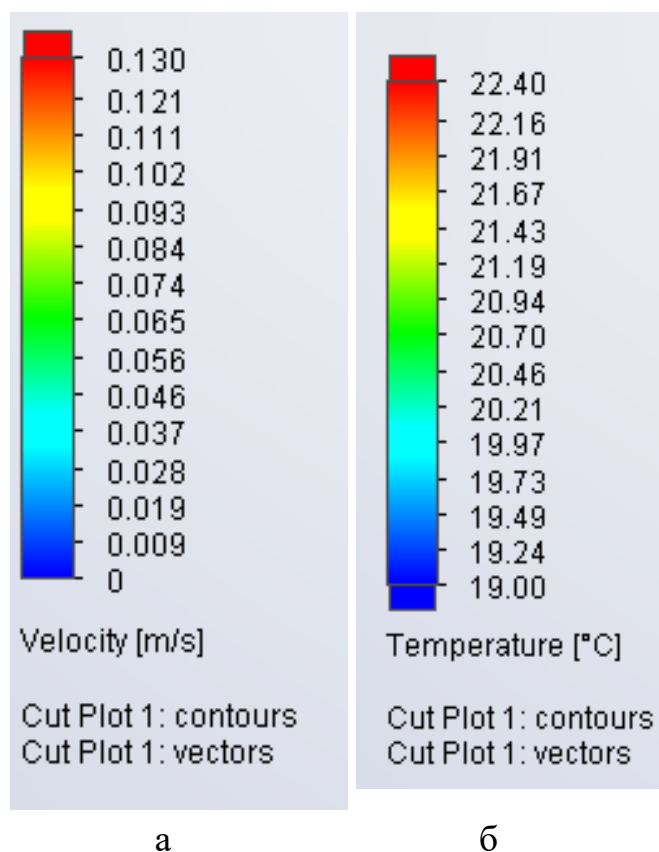


Рис. 13. Граничні умови параметрів в моделюванні витісняючої вентиляції з трьома повітророзподільними тумбами (а — швидкість, б — температура)

Порівняно зі змішувальною вентиляцією, циркуляційні кільцеві потоки утворюванні в приміщенні, мають глобальний вплив на повітрообмін у приміщенні. Це добре видно на рис. 16. Також на рисунку, добре видно, що принцип роботи витісняючої вентиляції описаний в [2], [5], на даному розрізі виконується не ідеально, адже припливна струмина має перетікати підлогою і частково проходити все приміщення. Проте беручи до уваги ефекти діагонального перетікання повітря з нижньої площини приміщення в центр приміщення, тобто до теплогенеруючого ядра приміщення, де сидять люди,

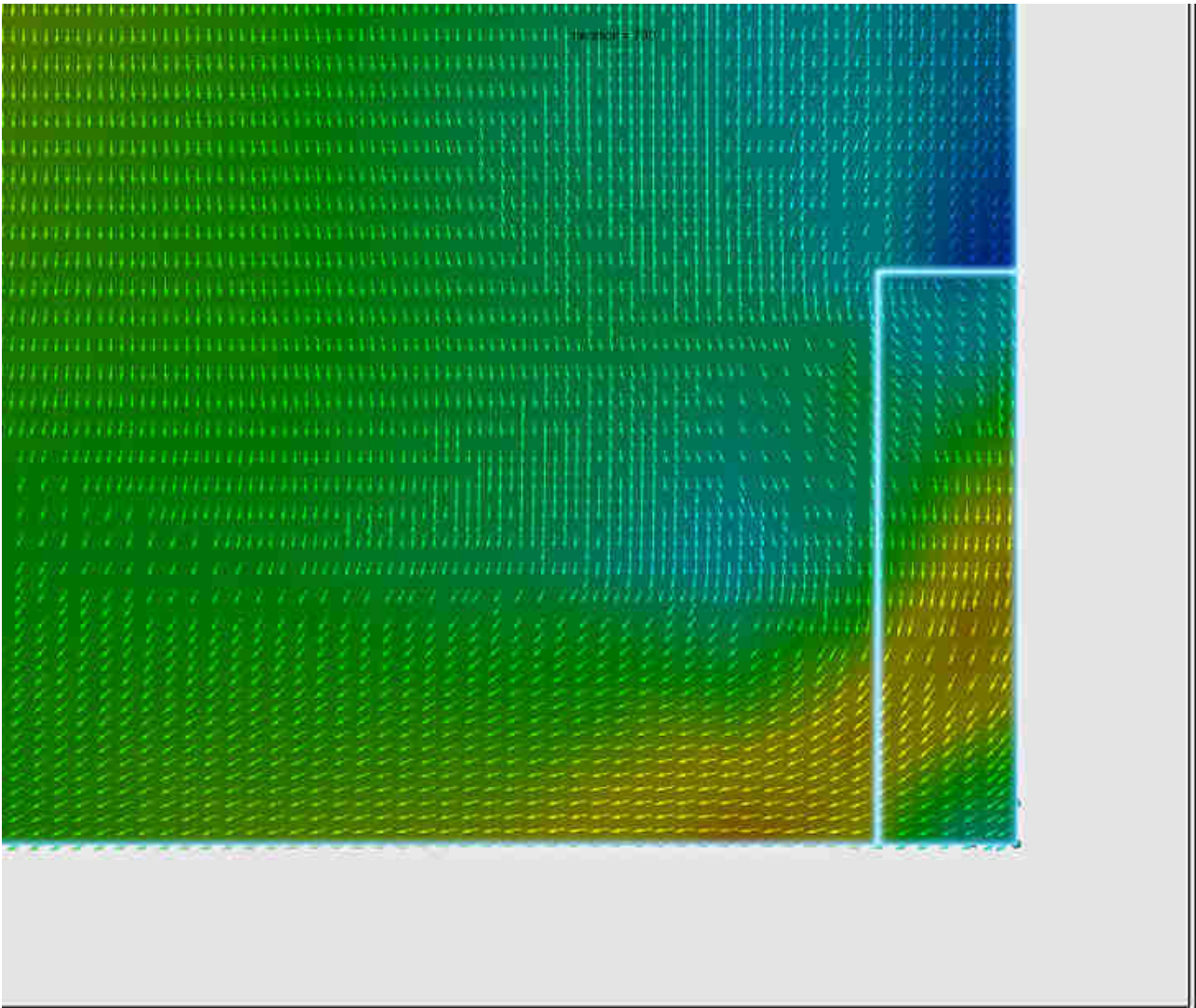


Рис. 14. Розріз припливної тумби при моделюванні витісняючої вентиляції з трьома тумбами, швидкість повітря

стає зрозумілим, що повітря з вистою підіймається і в основному підноситься конвективними потоками, які генеруються людьми. На рис. 16, видно що потік рухається відповідно до загальноприйнятої схеми. Повітря з припливної середньої тумби подається в приміщення і за допомогою стратифікації та ефекта Коанда перетікає в протилежну частину приміщення. У всій довжині приміщення за допомогою конвективних потоків повітря підіймається вгору, інтенсивніше в зоні перебування людей, повільніше в протилежній частині приміщення.

На рис. 16, може здатися, що має місце утворення зон застою повітря в нижній, протилежній частині приміщення. Адже швидкість повітря в даній точці становить 0,01...0,018 м/с.

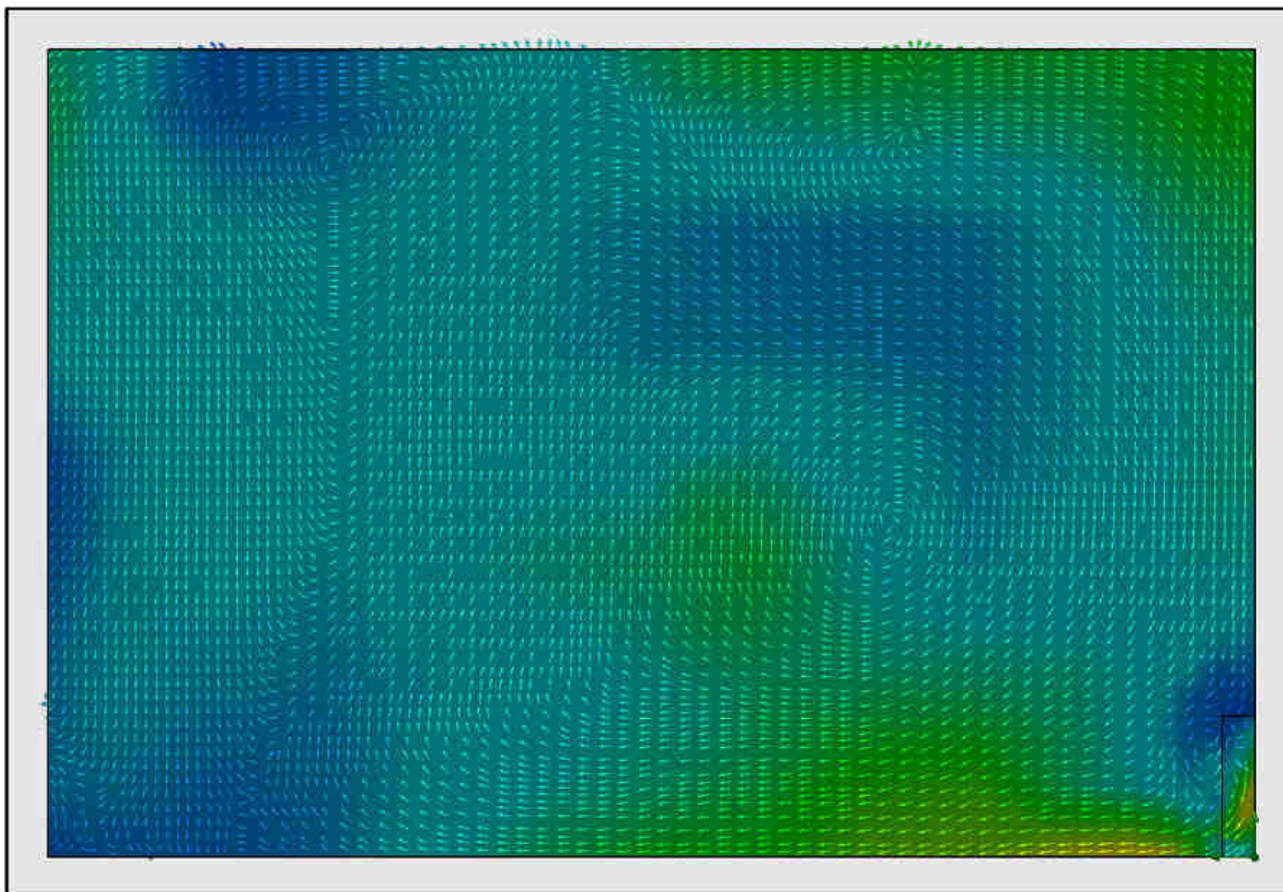


Рис. 15. Розріз приміщення крізь припливну тумбу №1, швидкість повітря

Для детальнішого дослідження було виконано додатковий розріз на рис. 17, з протилежного до припливних тумб боку для детальнішого дослідження процесів, що там відбуваються. Порівнявши та зіставивши результати моделювання, показані на рис. 16 і 17, спостерігаємо, що циркуляція повітря в нижній частині кімнати навпроти плоских тумб припливного повітря все ж присутня, проте дуже слабка. Основний потік припливного повітря постійно спрямований вгору та концентрується в центральній точці у верхній частині кімнати. Це явище ілюструє переважання вертикального руху повітря, що забезпечує його рух вгору, але одночасно обмежує ефективність горизонтальної циркуляції в зонах, віддалених від центра кімнати.

На рис. 20-22 досить чітко видно характерну роботу витісняючої вентиляції [2], [5], за якої основні повітряні потоки спрямовані по діагоналі до центру приміщення. Припливне повітря, що подається припливними тумбами системи витісняючої вентиляції перетікає не лише горизонтально чи вертикально з конвективними потоками, а й діагонально в усіх напрямках, адже перенаправлюється відбитими повітряними течіями від стін і взаємодіє з конвективними потоками.

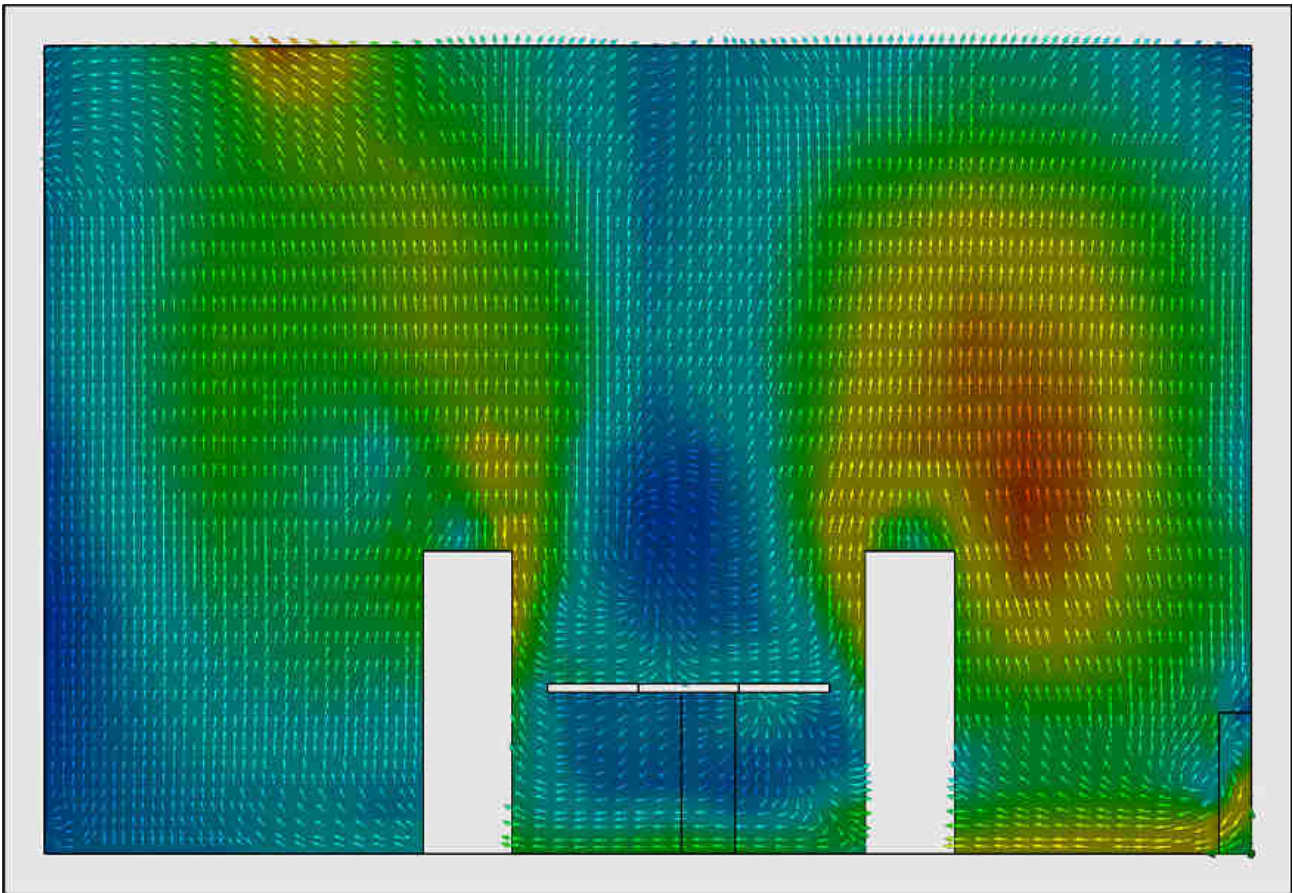


Рис. 16. Розріз приміщення, який перетинає припливну тумбу та людей, швидкість повітря

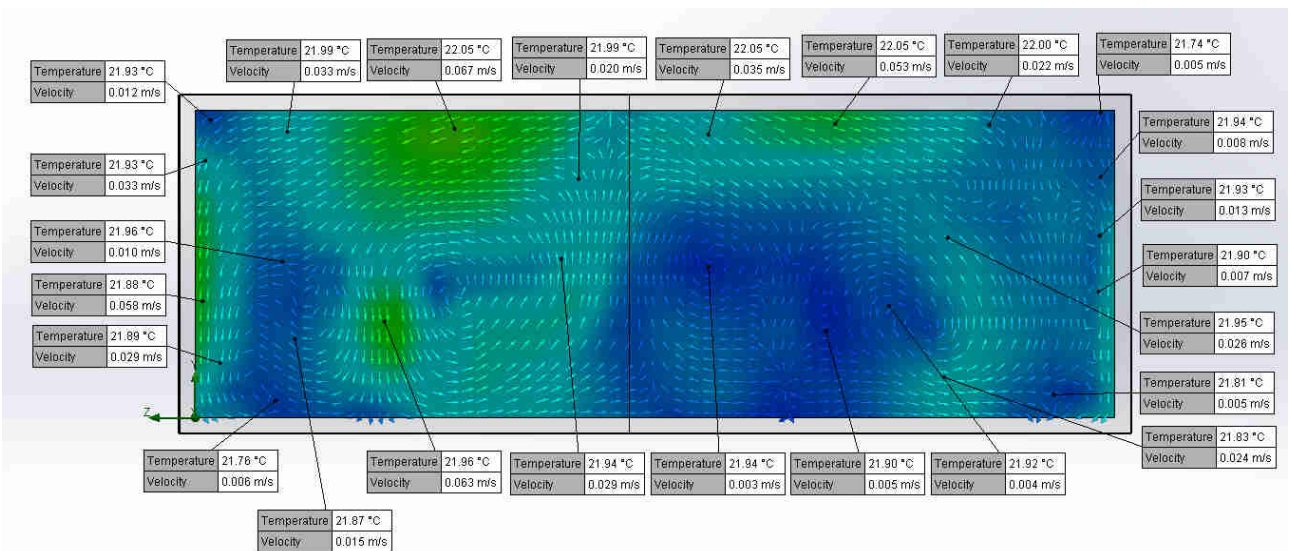


Рис. 17. Параметри повітряних потоків з протилежного до припливних тумб боку приміщення, швидкість повітря

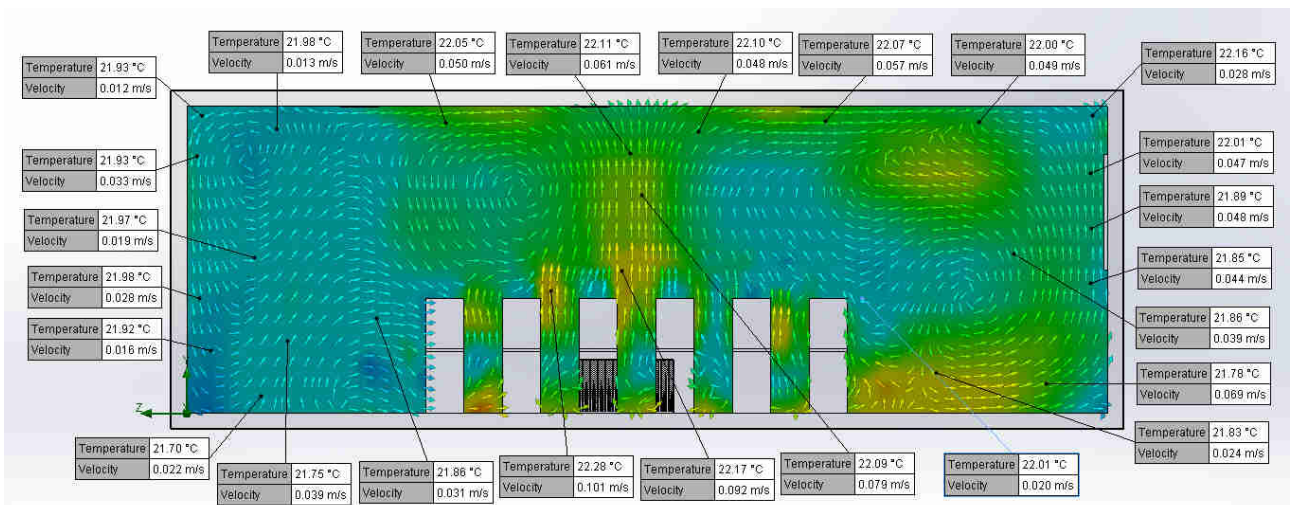


Рис. 18. Параметри повітряних потоків з протилежного до припливних тумб боку приміщення крізь місця для сидіння, швидкість повітря

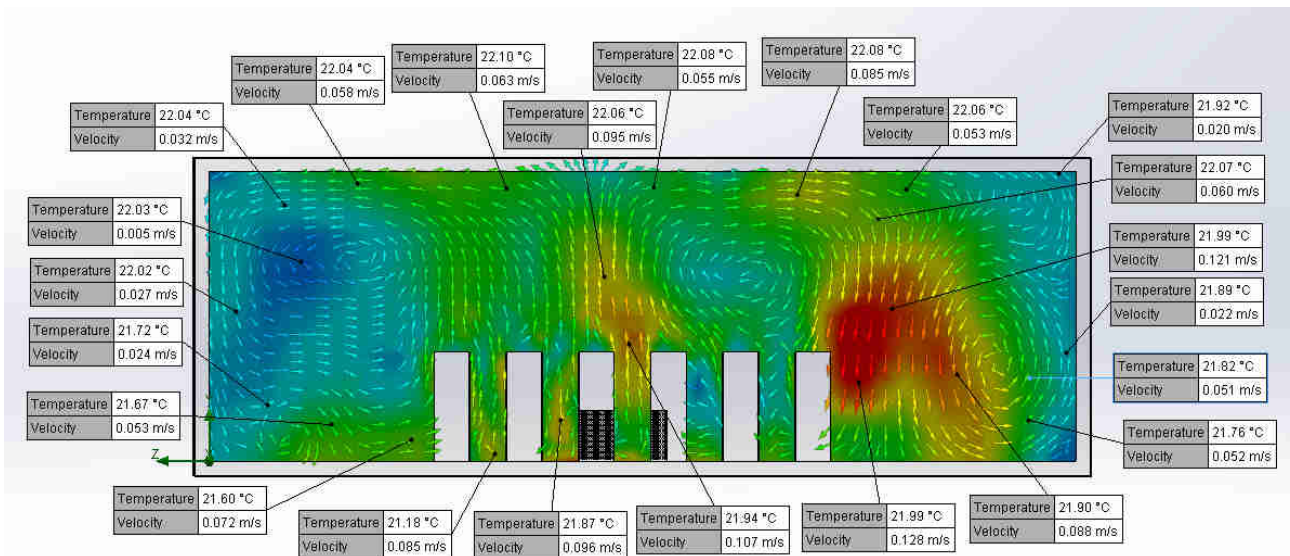


Рис. 19. Параметри повітряних потоків з ближнього боку до припливних тумб, розріз за місцями для сидіння, швидкість повітря

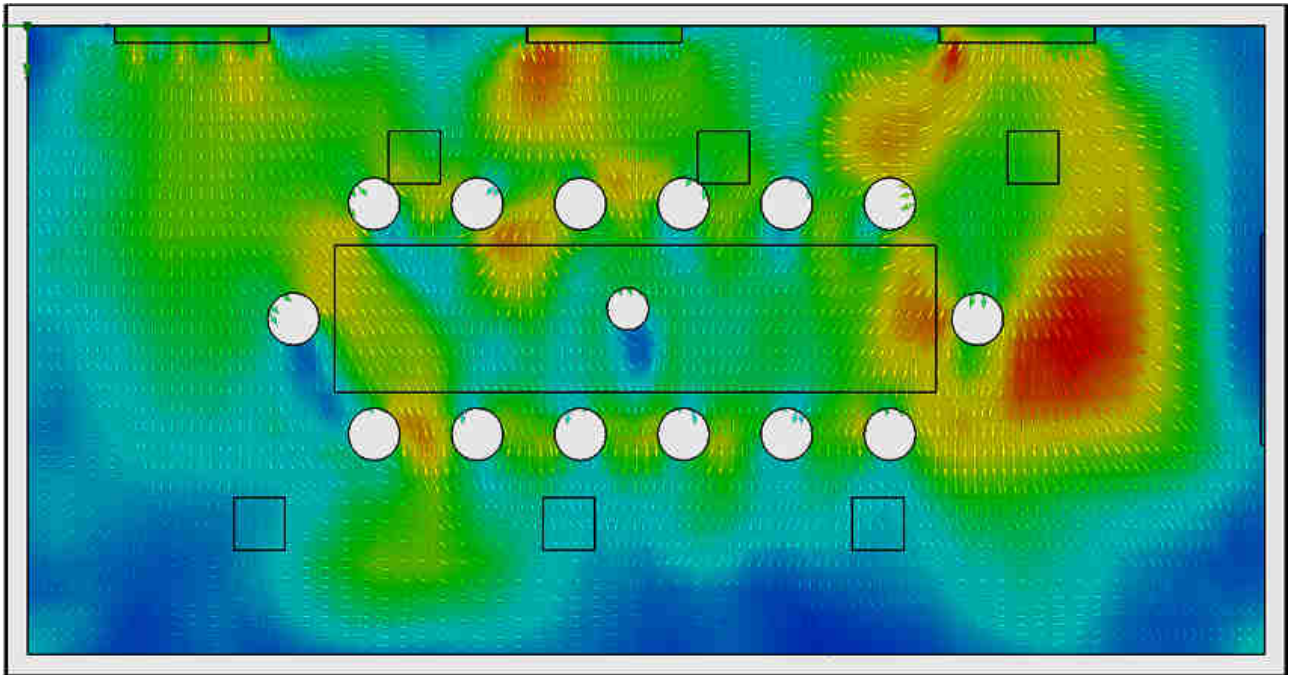


Рис. 20. Горизонтальний розріз приміщення при витісняючій вентиляції на висоті +0,100 м, швидкість повітря

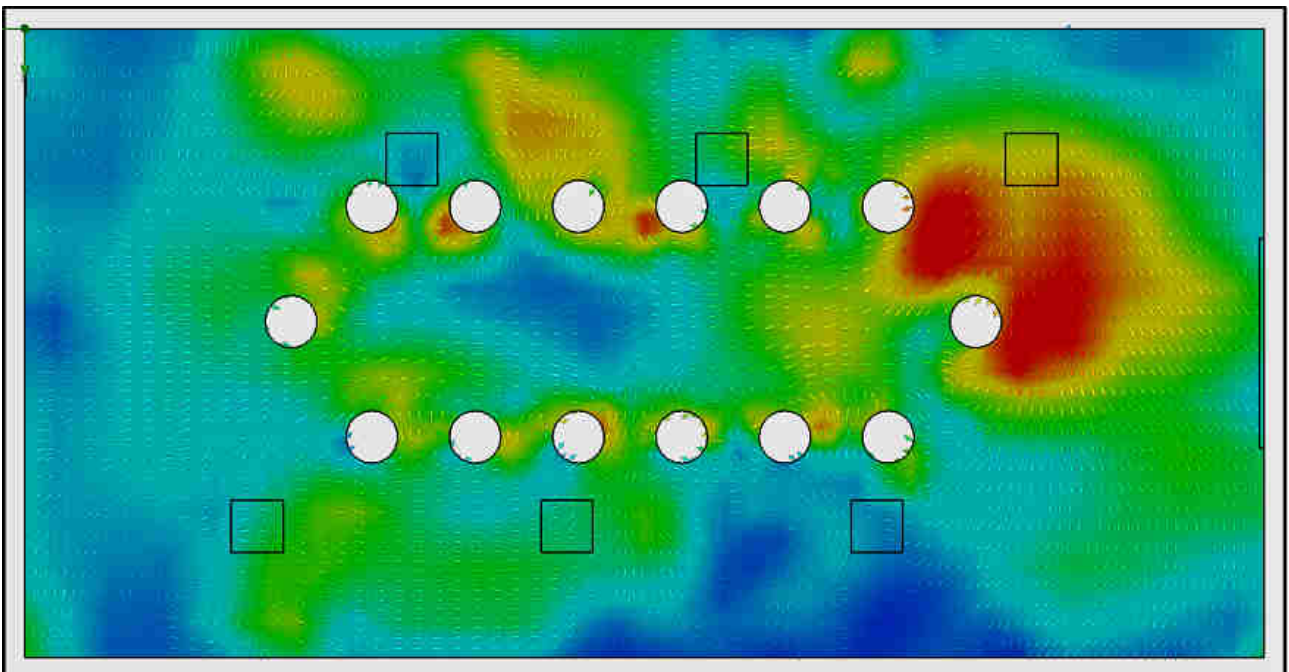


Рис. 21. Горизонтальний розріз витісняючої вентиляції приміщення на висоті +1,500 м, швидкість повітря

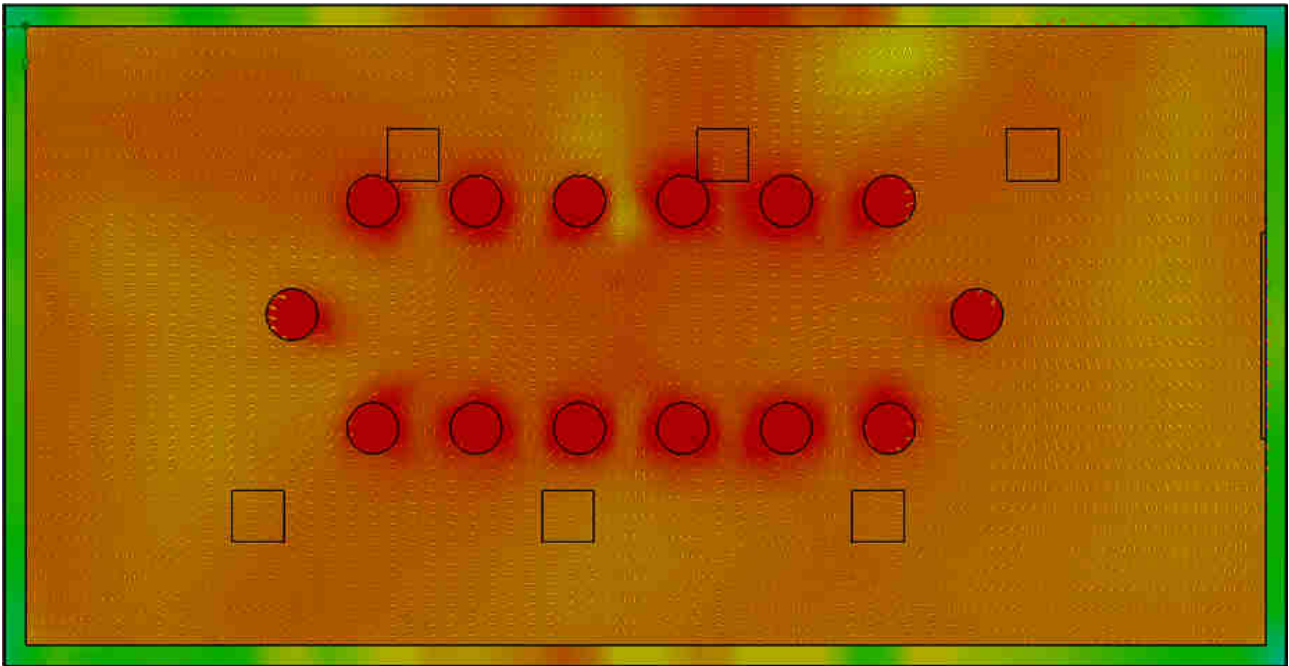


Рис. 22. Горизонтальний розріз витісняючої вентиляції приміщення на висоті +1,500 м, температура

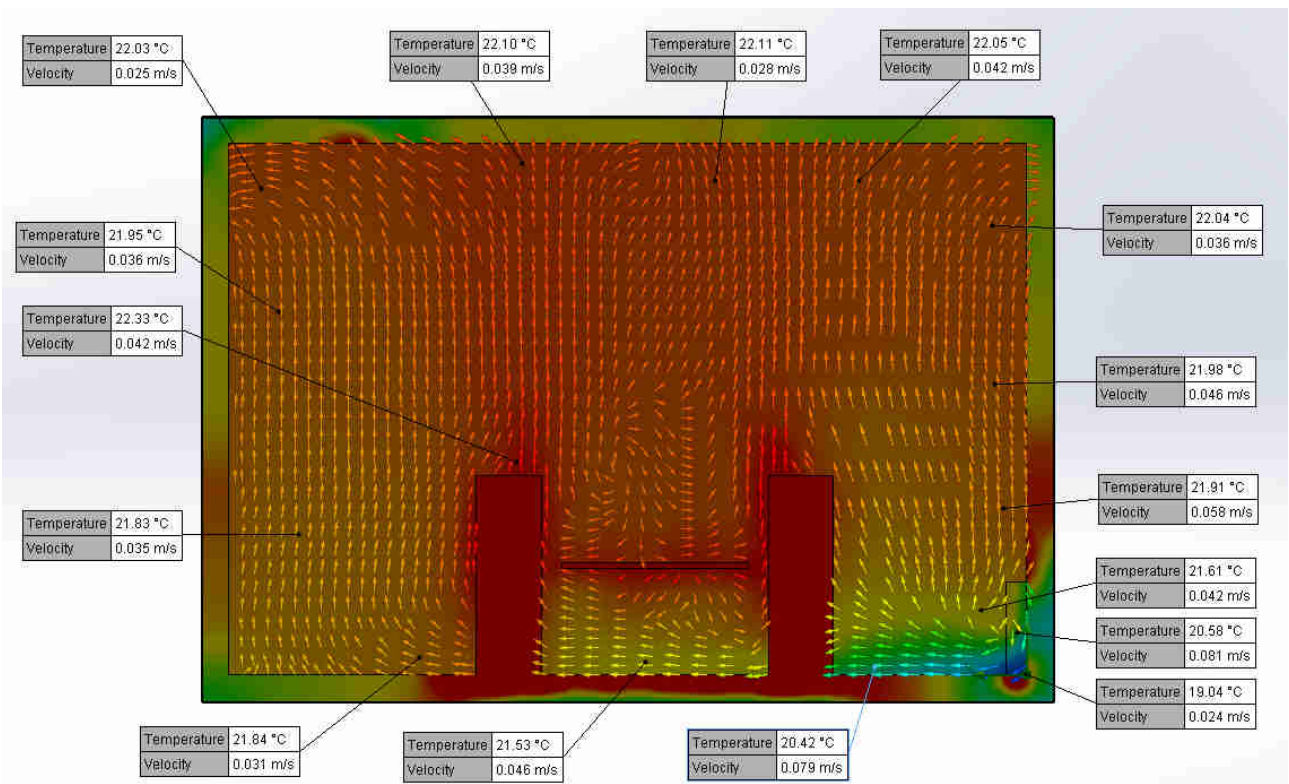


Рис. 23. Параметри повітряних потоків з ближнього боку до припливних тумб, розріз крізь місце для сидіння, температура повітря

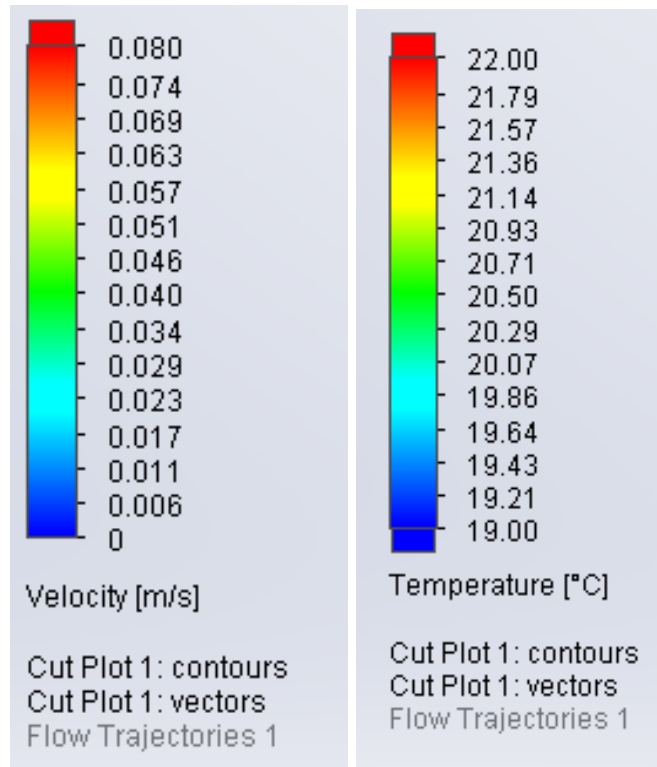
Згідно з [1], у теплонапружених приміщеннях витісняюча вентиляція показує себе недостатньо ефективною через габарити і велику витрату конвективних потоків.

Розгляд температурних розрізів показує, що загальний температурний градієнт знизився. На рис. 22 і 23 видно, що в нижній частині приміщення температура варіюється в межах 19...21,5°C, а у верхніх від 21°C до 22,5°C.

Результати моделювання витісняючої вентиляції з трьома плоскими тумбами повітророзподілення показує невелику кількість зон застою та однорідне перемішування повітряних мас у всьому приміщенні (рис. 21). Це забезпечує задовільні параметри мікроклімату в приміщенні без перегріву або переохолодження. Завдяки ламінарному потоку повітря з вентиляційних тумб витісняючої вентиляції, припливне повітря рівномірно піднімається. Проте спричинені розрідженням між струминами турбулентні потоки повітря порушують впорядкований та рівномірний рух повітряних мас приміщенням. Таким чином, витісняюча вентиляція в цій конфігурації є ефективною, оскільки забезпечує рівномірний розподіл повітряних потоків, запобігає утворенню зон застою та підтримує оптимальні умови мікроклімату навіть при значному тепловиділенні.

Витісняюча вентиляція з двома плоскими тумбами (рис. 24-31), була змодельована для вивчення впливу кількості та розташування повітряних тумб витісняючої вентиляції на мікрокліматичні параметри приміщення при повітророзподіленні даним способом, було розроблено додаткову модель. З трьох встановлених тумб середню було вимкнено, а її витрату повітряного потоку було рівномірно розподілено між двома іншими тумбами, що ближче знаходяться до стін. Загальна витрата припливного повітря залишається незмінною, але конфігурацію повітророзподілення витісняючої системи вентиляції було змінено. Такий підхід дозволить нам досить детально дослідити вплив способу подавання повітряного потоку в приміщення на градієнт температури, профіль швидкостей повітря в приміщенні та загальну ефективність системи.

Дане моделювання є важливим етапом у дослідженні гнучкості системи витісняючої вентиляції та її способу адаптування до різних умов експлуатування приміщення. Воно в подальшому буде сприяти розроблянню практичних рекомендацій, які будуть посібником для проєктантів щодо підбирання оптимальної кількості та розміщення плоских тумб повітророзподілення. Також даний експеримент може призвести до зміни капітальних вкладень, що позитивно вплине на вибирання типу системи на етапі проєктування.



а)

б)

Рис. 24. Граничні умови параметрів в моделюванні витісняючої вентиляції з двома повітророзподільними тумбами (а – швидкість, б – температура)

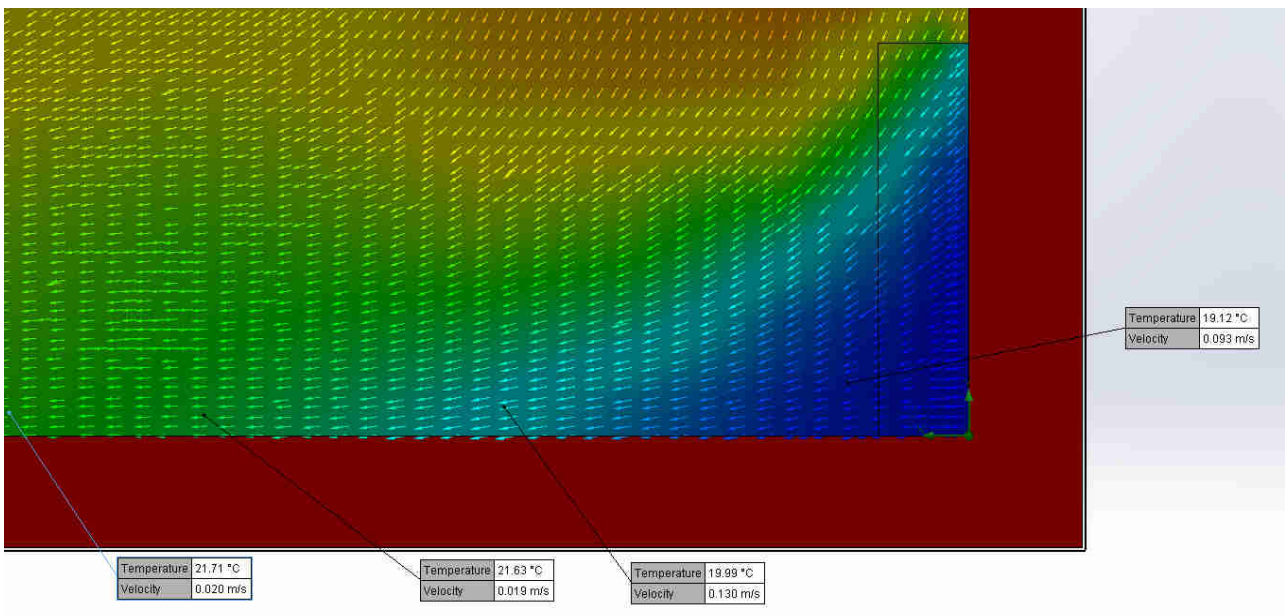


Рис. 25 Розріз припливної тумби моделювання з двома повітророзподільниками (швидкісний)

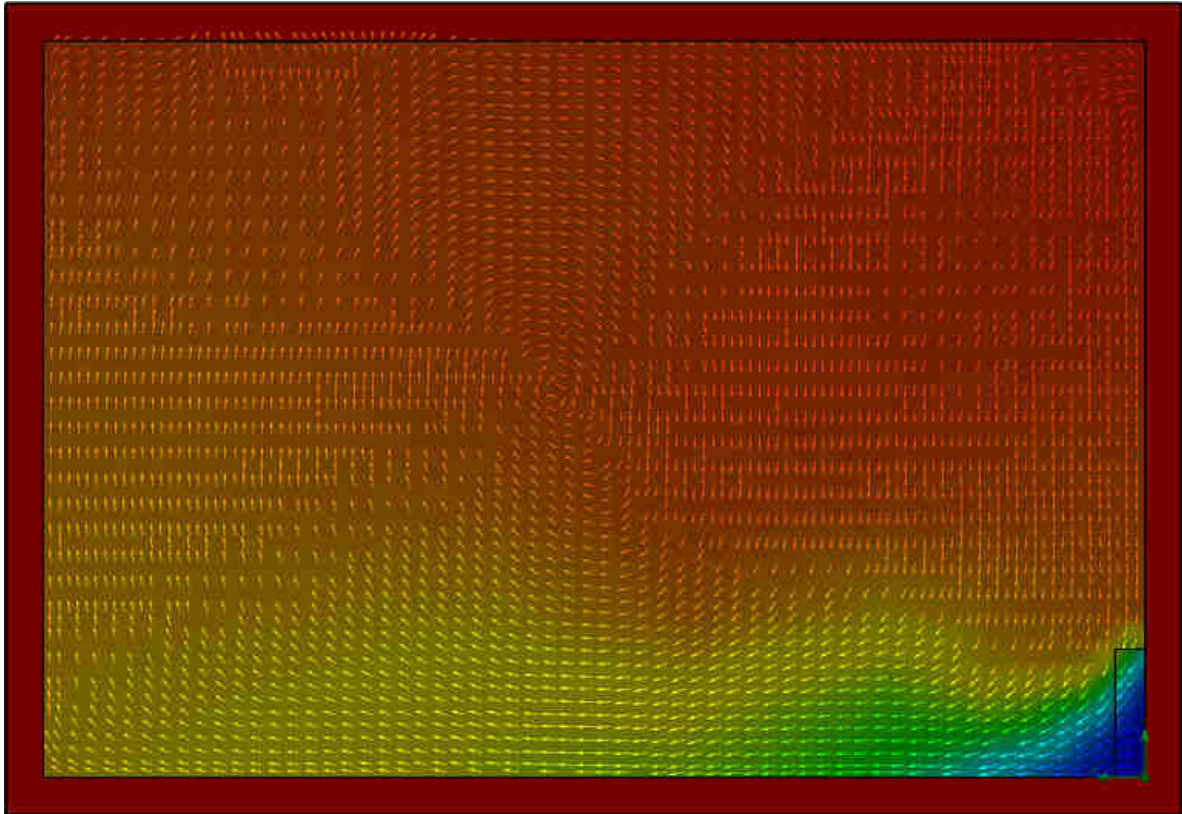


Рис. 25. Розріз приміщення, який перетинає припливну тумбу №1, витісняючої вентиляції з двома тумбами (температурний)

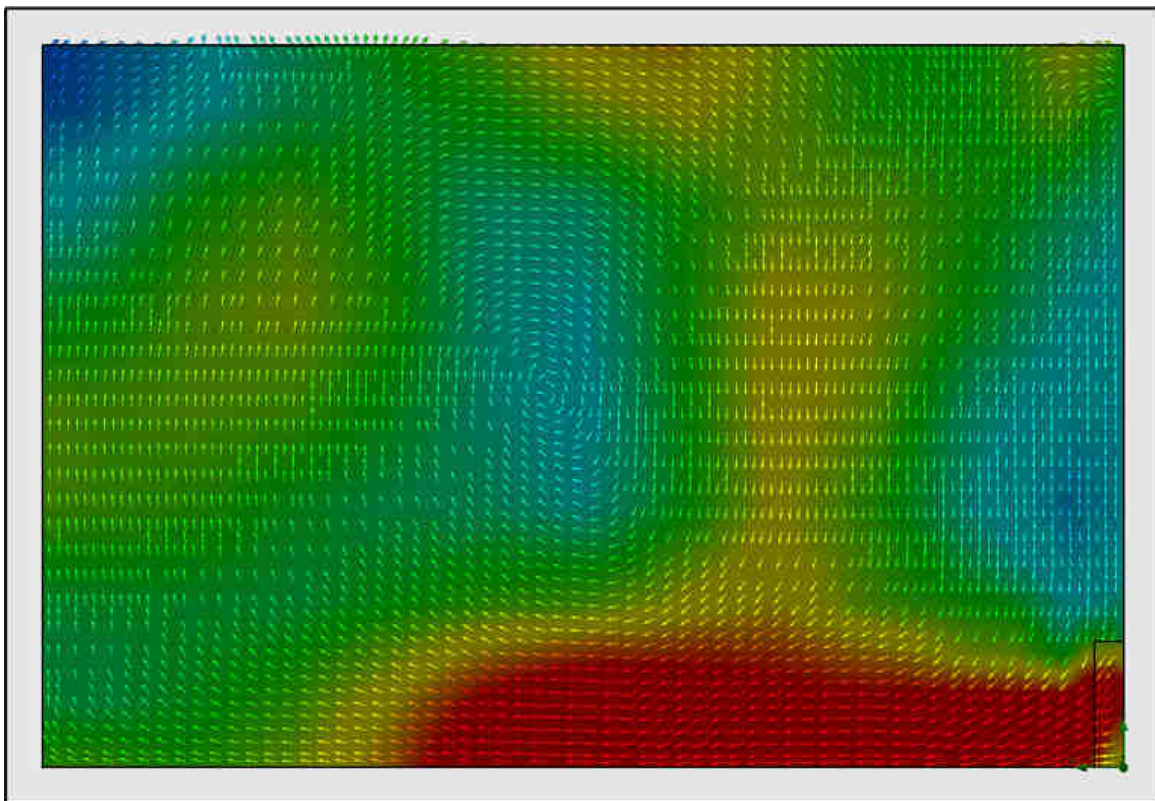


Рис. 26. Розріз приміщення, який перетинає припливну тумбу №1, витісняючої вентиляції з двома тумбами (швидкісний)

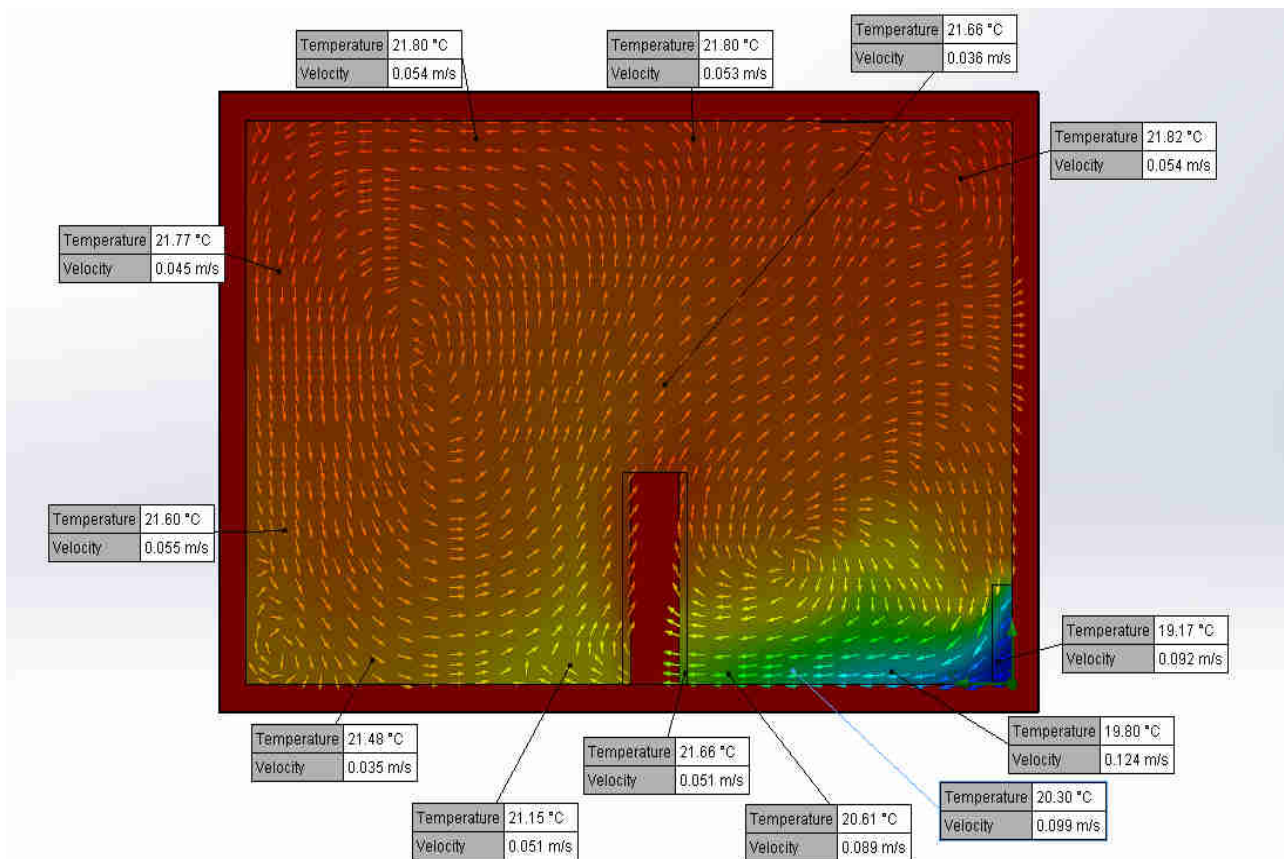


Рис. 27. Розріз приміщення, який перетинає припливну тумбу №2, витісняючої вентиляції з двома тумбами (температурний)

Моделювання також показує, що вентиляційна система з двома плоскими базовими поверхнями підтримує той самий об'єм припливного повітря, але змінює його просторовий розподіл. Це створює нову схему циркуляції, що дозволяє краще оцінити сильні та слабкі сторони системи.

Результати підтверджують рівномірність профілю швидкості та майже повністю усуває зони застою. Це підтверджує потребу оптимізувати кількість виходів повітря без шкоди для ефективності.

На рис. 26, видно виконання принципів витісняючої вентиляції [5]. На даному розрізі наведений приклад, коли охолоджене повітря через ефект Коанда прилипає до підлоги, перетікає крізь усе приміщення і підноситься догори. На рис. 25 видно незначну стратифікацію та рух повітря знизу-догори [1].

Хоч дана модель наближена до ідеального прикладу витісняючої вентиляції, проте маємо й певні вади. На рис. 27 і 28 чітко видно утворення невеликих вихорів повітря через значне надходження теплоти в центральній частині приміщення. Проте ці циркуляції повітря мають дуже малий вплив, оскільки загальна швидкість потоку повітря залишається низькою.

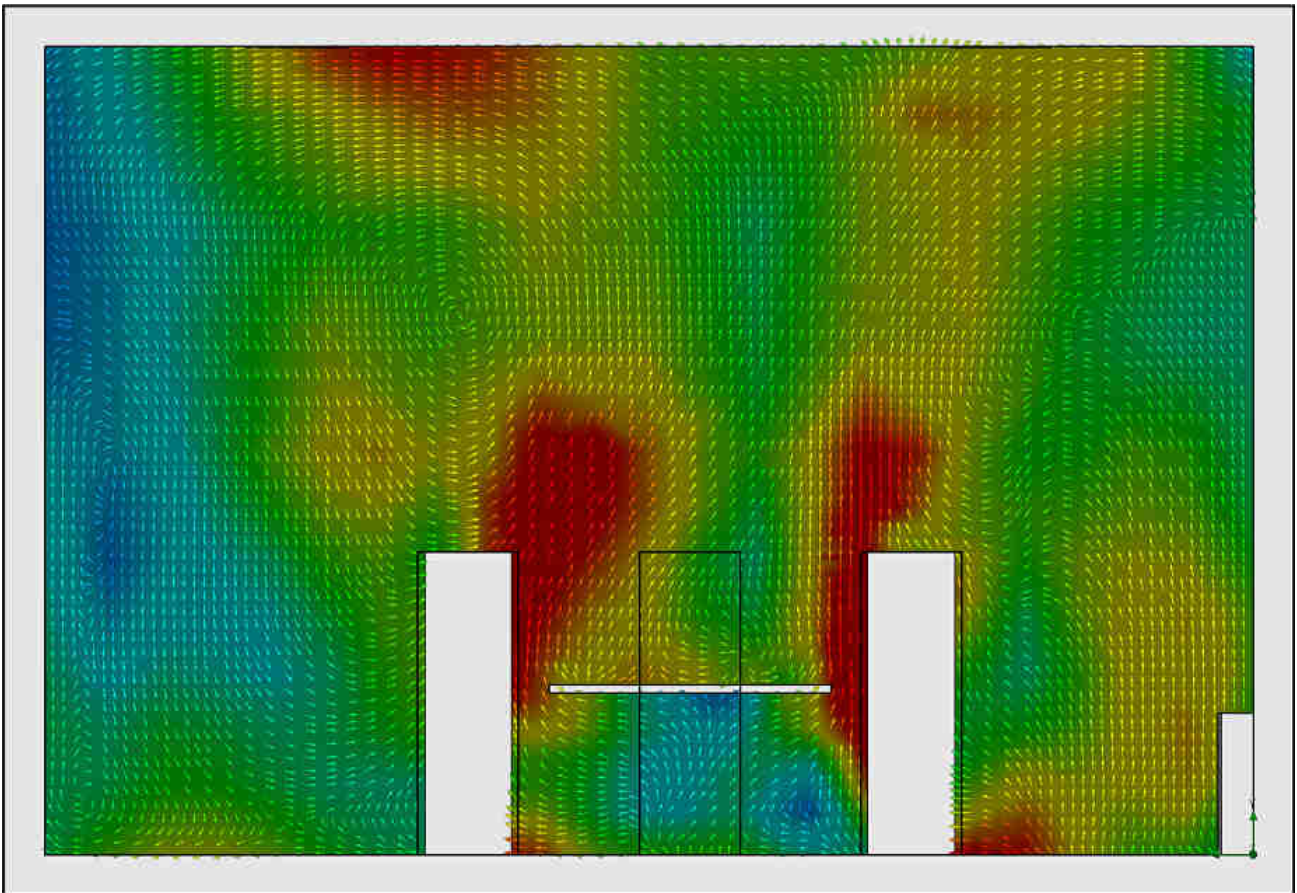


Рис. 28. Розріз. Повітряні потоки середини приміщення, розріз по сидячим місцям (швидкісний)

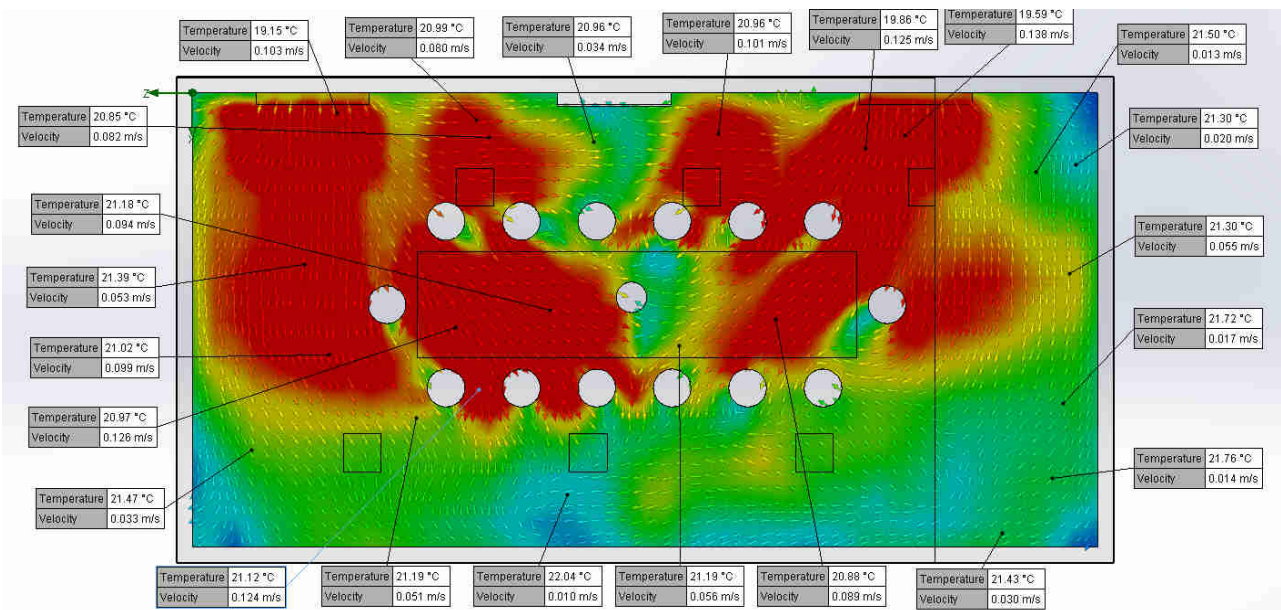


Рис. 29. Параметри повітряних потоків на січнму розрізі +0,100 м. від рівня підлоги (швидкісний)

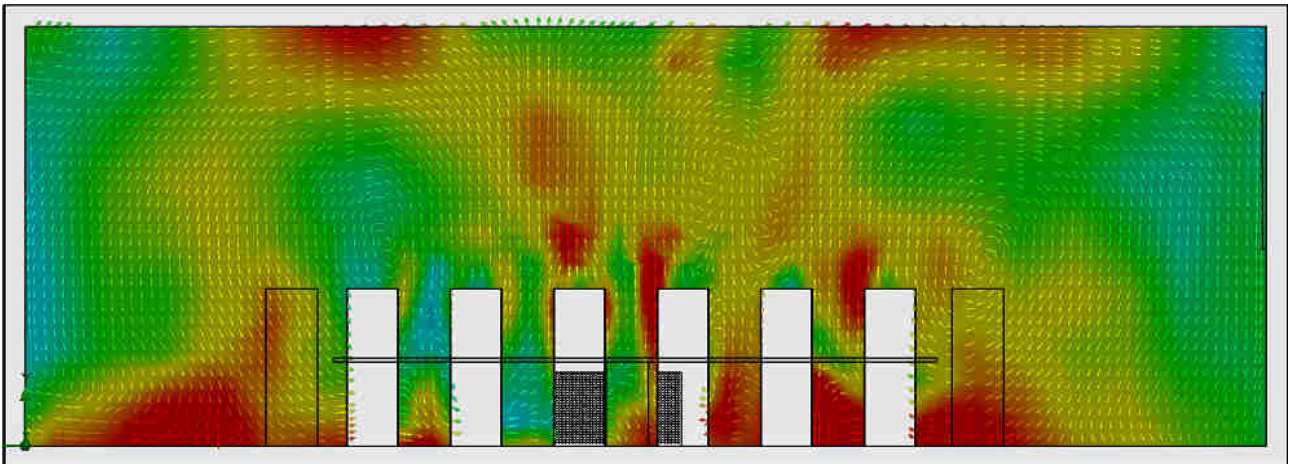


Рис. 30. Розріз. Повітряні потоки приміщення, розріз по сидячим місцям (швидкісний)

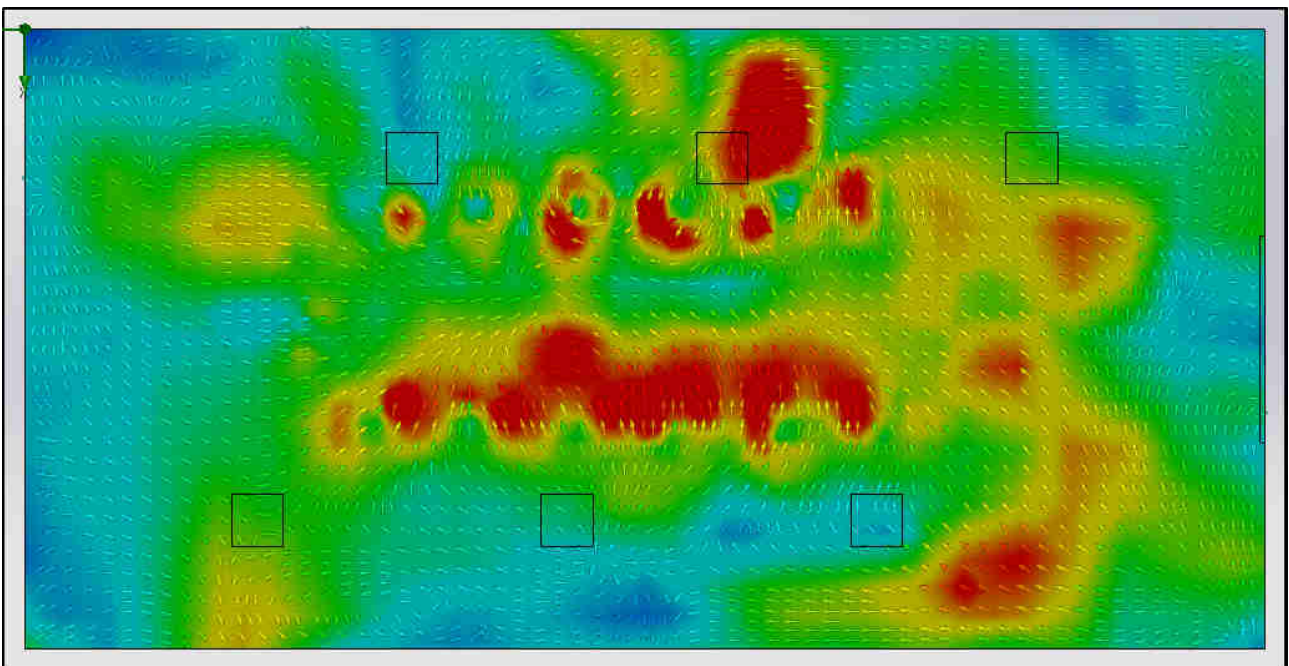


Рис. 31. Параметри повітряних потоків на січному розрізі +1,500 м. від рівня підлоги (швидкісний)

Важливо, що цей приклад демонструє кращу організацію повітрообміну, ніж результати моделювання 1 та 2, оскільки система забезпечує стабільний вертикальний потік повітря та відсутність значних зон застою, навіть за умови надходження теплоти.

Таким чином, система витісняючої вентиляції зберігає свою ефективність і забезпечує комфорт користувача навіть за умови зменшення кількості повітророзподільників. Це підтверджує її здатність адаптуватися до змін навантаження та підтримувати стабільний клімат у приміщенні. Отримані результати дають змогу надалі розглядати конфігурації системи для

оптимізування повітророзподілення в подібних приміщеннях.

На рис. 29 і 30, видно цікавий ефект, пов'язаний з поточним розташуванням припливних тумб припливного повітря в модель. Потік повітря з лівої тумби змінює напрямок при ударі об стіну зі збільшенням швидкості повітря в центральну частину приміщення. Ці два повітряні потоки сходяться до центру приміщення, причому швидкість потоку, який подається лівою тумбою, охоплює більшу площу приміщення та рухається швидше.

У центральній області приміщення між двома людьми було визначено швидкість 0,126 м/с, що вказує на більш значний вплив цього потоку на загальну циркуляцію. Цей ефект демонструє, що навіть незначні зміни конфігурації розміщення повітророзподільних тумб можуть суттєво змінювати швидкість і напрямок руху повітряної струмини. Це важливий фактор для розроблення витісняючої вентиляції, оскільки він дає можливість у подальшому враховувати взаємодію повітряних потоків зі стінами та іншими елементами будівлі.

Такий аналіз підтверджує важливість точного розміщення повітророзподільних тумб, оскільки навіть незначні зміни положення можуть суттєво вплинути на циркуляцію повітря в приміщенні. Подальші дослідження повітророзподілення призведуть до розроблення більш гнучких та енергоефективних систем вентиляції.

Зіставлення результати моделювання, показані на рис. 29 і 30 можна зробити висновок, що система вентиляції в цій конфігурації мінімізує зони застою.

Повітряний потік рівномірно розподіляється у всьому об'єму приміщення. Це демонструє ефективне розподілення повітря, що сприяє стабільним параметрам мікроклімату в приміщенні, зменшує ризик локального перегрівання, переохолодження повітря або накопичення забруднювальних речовин, а також забезпечує комфортні умови знаходження людей у приміщенні. Цей результат підтверджує переваги обраної конфігурації розподілення повітря та демонструє високу ефективність витісняючої вентиляції.

Висновки. Порівняння результатів моделювання для різних типів систем повітророзподілення повітря дозволяє зробити висновки щодо їхньої ефективності та доцільності використання в конференц-залі. Змішувальна вентиляція виявилася досить прийнятним рішенням, створюючи прийнятний мікроклімат у приміщенні. Однак вона не досить ефективна: температура в робочій зоні вища, ніж при витісняючій вентиляції, а перегрівання відбувається у верхніх шарах приміщення, що свідчить про менш ефективну стратифікацію

повітря та утворення зон циркуляції. Витісняюча вентиляція з трьома плоскими повітророзподільними тумбами продемонструвала значно кращі результати: середня температура в робочій зоні нижча, а розподілення повітряного потоку більш рівномірне. Однак, навіть таку конфігурацію можна покращити. Найбільш ефективною виявилася витісняюча вентиляція з двома повітророзподільвальними тумбами, у якій перерозподілення повітряного потоку мінімізував зони застою, що призводило до більш передбачуваної циркуляції повітря та кращого градієнта температури, а отже, й до оптимальних умов у приміщенні. Усі розглянуті системи підходять для вентиляції конференц-залів, але остаточний вибір залежить від бюджету: змішувальна вентиляція вимагає менших капітальних вкладень, тоді як витісняюча вентиляція забезпечує найкращий комфорт та максимальну ефективність, але вимагає більших капітальних вкладень. Тому рішення має ґрунтуватися на збалансованому співвідношенні між фінансовими ресурсами та вимогами до якості мікроклімату в приміщенні.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження є необхідними, оскільки поточне моделювання охоплює лише деякі конфігурації та не враховує всі можливі типи повітророзподільників та різні місця розташування витяжних отворів. Тому необхідний більш детальний аналіз різних систем подачі повітря в приміщення, враховуючи такі фактори, як кількість отворів, їх геометрія, висота та напрямок потоку, а також взаємодія цього потоку з архітектурними особливостями приміщення. Головною метою цього дослідження є пошук оптимального компромісу між якістю клімату в приміщенні та ефективним розподілом повітря, одночасно забезпечуючи комфорт користувачів, оптимізуючи споживання енергії та зменшуючи інвестиційні витрати. Подальша робота повинна передбачати як числове моделювання, так і експериментальні вимірювання в реальних умовах, щоб дозволити розробляти комплексних рекомендацій проектування для сучасних систем вентиляції, які можуть адаптуватися до різних типів приміщень та забезпечувати стабільний, економічний та комфортний мікроклімат у приміщенні.

References

1. Klymenko, H. M. *Povitriorozpodil u stysnnykh umovakh vyrobnychyykh prymyshchen z teplonadlyshkamy*. PhD dissertation, National University "Lviv Polytechnic," 2015. Scientific advisor V. B. Dovhaliuk. 8 Apr. 2015. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0415U000963/>.

2. “Zahalne uiavlennia pro vytisnaiuchu ventyliatsiiu.” МРК.ua, <https://mpk.ua/zagalne-uyavlennya-pro-vytisnyayuchu-ventyliacziyu-chastyna-1/> . Accessed 15 June 2026.
3. Zynych, P. L. *Ventylatsiia hromadskykh budivel*. KNUBA, 2002.
4. *DBN V.2.5-67:2013: Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia*. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine, 2013. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152
5. Mileikovskiy, V., V. Vakhula, and O. Dudnikov. “Teoretychni doslidzhennia orhanizatsii povitroobminu z bahatostrumynnymy povitrorozpodilnykamy.” *Ventylatsiia, Osvitlennia ta Teplohapostachannia*, no. 49, 2024, pp. 56–81. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2024.49.56-81>.
6. Dovhaliuk, V. B. *Aerodynamika Ventylatsii*. IVNVKP “Ukrheliotekh,” 2015.
7. Dovhaliuk, V. B. “Formuvannia ta Rozvytok Konvektyvnykh Potokiv Bilia Teplovykh Dzherel Promyslovykh Tseksiv.” *Ventylatsiia, Osvitlennia ta Teplohapostachannia*, vol. 1, 2001, pp. 43–56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/votp_2001_1_7

UDC 622.741.3.022+622.7+620.133

Assitant Professor **Volodymyr Vakhula**

v.vahula@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7973-6421

Student, **Daria Mamrykova**,

mrkv.darya@gmail.com, ORCID: 0009-0006-5925-2175

Student **Denys Yuzkov**,

yuzkovden@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2857-7325

Kyiv National University of Construction and Architecture

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2026.57.156-184>

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF DIFFERENT METHODS OF AIR EXCHANGE ORGANISATION

Abstract. Ensuring optimal microclimate parameters in rooms using mechanical, supply and exhaust air ventilation systems is the most common method. In this area, there are various options for supplying fresh air, each of which can offer more optimal solutions depending on the type of room and what operational tasks it carries. The main factor in developing a ventilation system is the removal of harmful inflows from it, which accumulate in the air over time, and the replacement of the removed air with new, supply air. The following are the most common types of harmful inflows into the room, namely: odors, heat, moisture, CO₂, aerosols,


chemically hazardous elements, dust particles. For a certain type of polluting factors, and also, depending on the parameters of the room operation, it's necessary to select the appropriate method of air exchange. In order to guarantee a comfortable stay of people in the working area of the room, which in turn will prevent people from feeling unwell. This article presents various options for organizing air supply and exhaust in a room, depending on the method of air supply and exhaust, configuration and location of air distributors in the room. Comparison of simulation results for different types of air distribution systems allows us to draw conclusions about their effectiveness and feasibility of using them in a conference room. Mixing ventilation turned out to be a fairly acceptable solution, creating an acceptable microclimate in the room. However, it isn't efficient enough: the temperature in the working area is higher than with displacement ventilation, and overheating occurs in the upper layers of the room, which indicates less effective air stratification and the formation of circulation zones. Displacement ventilation with three flat air distribution pedestals demonstrated significantly better results: the average temperature in the working area is lower, and the air flow distribution is more uniform. However, even such a configuration can be better optimized, in particular to reduce local turbulence in stagnant zones and improve the overall air flow. The most effective was the displacement ventilation system with two air distribution boxes, in which the redistribution of the air flow minimized stagnant zones, which led to more predictable air circulation and a better temperature gradient, and therefore to optimal comfort conditions in the room. All the systems considered are suitable for ventilation of conference rooms, but the final choice depends on the budget: mixed ventilation is a more economical option, while displacement ventilation provides the best comfort and maximum efficiency, but requires greater capital investment. Therefore, the decision should be based on a balanced ratio between financial resources and requirements for the quality of the indoor microclimate.

Keywords: *mixing ventilation; displacement ventilation; air exchange; air distribution; stratification; Coanda effect.*

Received/Надійшла до редакції 26.12.2025

Accepted/Прийнято 18.03.2026

Issued/Опубліковано 29.05.2026

 Distributed under the license / Розповсюджується за ліцензією:

Creative Commons Attribution 4.0 International License