

Згідно з формою №Н-9.01
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року №384

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів

Пояснювальна записка
до дипломної роботи магістра на тему

**Моделювання основних теплофізичних показників стінового
елемента з CLT-панелей**

Виконав: студент групи ТД-61м
спеціальності 187 Деревообробні та меблеві
технології
спеціалізації «Технології деревообробки»
Манзюк А.О.

Керівник: д.т.н., проф. Маєвський В.О.

Рецензент: _____

(прізвище та ініціали)

Львів – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

АЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 187 Деревообробні та меблеві технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри: ТЛС і ДБВ

доц. Ференц О.Б.

“ ” 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Манзюк Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Моделювання основних теплофізичних показників стінового елемента з CLT-панелей

Керівник проекту д.т.н., проф. Маєвський В.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від “30” липня 2022р. №С- 251

2. Термін подання студентом роботи 15.12.22р.

3. Вихідні дані до проекту провести експериментальні дослідження згідно теми магістерської роботи

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)

Огляд літературних джерел; методика проведення експериментальних досліджень; результати експериментальних досліджень та їх аналіз; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки та рекомендації; література

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
графічний матеріал представлений у презентаційному вигляді

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 30.07.2022р.

Керівник проекту _____
(підпис)

Маєвський В.О.
(прізвище, ініціали)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи магістра | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|--|---------------------------------|----------|
| 1 | Огляд літературних джерел | 08.2022 | |
| 2 | Методика експериментальних досліджень | 09-10.2022 | |
| 3 | Результати експериментальних досліджень та їх аналіз | 10-11.2022 | |
| 4 | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 11.2022 | |
| 5 | Висновки та рекомендації | 12.2022 | |
| 6 | Оформлення ПЗ | 12.2022 | |
| 7 | Презентація, відгук | 12.2022 | |
| | | | |

Студент _____
(підпис)

Манзюк А.О.

Керівник роботи _____
(підпис)

Маєвський В.О.

Зміст

| | |
|--|-----------|
| Анотація | 5 |
| Вступ | 6 |
| Розділ 1. Огляд літературних джерел | 8 |
| 1.1. Короткий опис CLT-панелей..... | 8 |
| 1.2. Матеріали, які можуть бути використані як наповнювач..... | 11 |
| 1.3. Матеріали, які можуть бути використані для утеплення..... | 17 |
| 1.4. Вентильований фасад | 22 |
| 1.5. Основні теплофізичні характеристики | 23 |
| 1.6. Табличні значення основних теплофізичних характеристик | 26 |
| 1.7. Точка роси та її утворення..... | 27 |
| 1.8. Висновки до розділу | 29 |
| Розділ 2. Методика проведення експериментальних досліджень | 30 |
| 2.1. Формування стінового елемента з CLT-панелі | 30 |
| 2.1.1. Вибір та обґрунтування розмірів стінових елементів | 30 |
| 2.1.2. Вибір наповнювачів та матеріалів для утеплення CLT-панелей.. | 31 |
| 2.1.3. Визначення теплофізичних параметрів матеріалу | 31 |
| 2.2. Види стінових елементів, що досліджують | 32 |
| 2.2.1. Суцільні CLT-панелі | 33 |
| 2.2.2. Панелі з наповненням стружкою або соломною | 34 |
| 2.2.1. Панелі з вентильованим фасадом..... | 34 |
| 2.3. Значення температурних навантажень, які закладалися для досліджень..... | 35 |
| 2.4. Моделювання стінових елементів з CLT-панелей | 36 |
| Розділ 3. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз | 39 |
| 3.1. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 100 мм | 39 |
| 3.2. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 120 мм | 44 |

| | |
|--|------------|
| 3.3. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 200 мм | 48 |
| 3.4. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 100 мм та вентиляльованим фасадом..... | 52 |
| 3.5. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 120 мм та вентиляльованим фасадом..... | 56 |
| 3.6. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 200 мм та вентиляльованим фасадом..... | 60 |
| 3.7. Дослідження стінового елемента з CLT-панелей як міжкімнатної перегородки..... | 64 |
| 3.8. Орієнтовний розрахунок вартості сировини та матеріалів у виробництві CLT-панелей | 68 |
| 3.9. Висновки до розділу | 70 |
| Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 71 |
| 4.1. Характеристика виробничого приміщення та дослідження | 71 |
| 4.2. Запиленість робочого приміщення | 72 |
| 4.3. Освітлення робочої зони..... | 74 |
| 4.4. Дослідження параметрів рівня шуму в робочому приміщенні | 75 |
| 4.5. Технічні рішення з електробезпеки. | 76 |
| 4.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях | 77 |
| 4.6.1. Організаційно-технічні рішення щодо пожежної безпеки, які застосовані на підприємстві | 77 |
| 4.6.2. Заходи та засоби протипожежного захисту | 77 |
| 4.7. Висновки до розділу | 78 |
| Висновки..... | 788 |
| Література | 89 |
| Додатки | |

Анотація

Тема дипломної роботи магістра – “Моделювання основних теплофізичних показників стінового елемента з CLT-панелей”. У цьому проекті, за допомогою програмних продуктів U-wert та SolidWorks, створено та досліджено стінові елементи, основою яких є CLT-панелі.

Для дослідження створено панелі, які складаються суто з деревини (порода – сосна), панелі з наповненням деревинною стружкою, соломою злакових рослин, а також поєднання вищенаведених панелей з вентиляльованим фасадом. Склад вентиляльованого фасаду наступний: мінеральна вата; повітряний прошарок; профільований горизонтальний брусок.

У третьому розділі подано результати експериментальних досліджень та проведено їх аналіз.

У розділі охорони праці досліджено параметри мікроклімату, запиленості, шуму та освітленості робочого приміщення. Також наведено технічні рішення з питань електробезпеки та розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях.

ВСТУП

На сьогоднішній час CLT-панелі є сучасним та екологічним матеріалом, який використовується у будівництві. Бо наразі питання екології є досить важливим питанням в усьому світі. Тому виробництво панелей удосконалюється за для того, аби не змінюючи механічних та фізичних характеристик, зменшити використання деревинних матеріалів. У даній роботі запропоновано один з способів удосконалення CLT-панелей, а саме використання стружки та соломи як матеріалу для їх наповнення.

Актуальність теми. Деревина є поширеним матеріалом в будівництві, але в той же час існує проблема зменшення її запасів. Тому для збереження та раціонального використання деревини вже зараз необхідно розробляти технології, які даватимуть змогу використовувати інші матеріали, але не впливатимуть на якість виготовленої продукції. Для кращого використання об'єму деревини можна використовувати стружку в якості наповнювача для панелей. Також альтернативою такого наповнювача можуть бути сільськогосподарські відходи зі стебел злакових рослин – солома.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є виявлення впливу товщини стінового елемента з CLT-панелей, матеріалу наповнення та утеплення на розташування точки роси та їх теплопровідність.

Задання дослідження:

- Провести огляд та аналіз літературних джерел;
- Визначити розміри та види стінових елементів з CLT-панелей для дослідження;
- Обґрунтувати вибрані розміри та види стінових елементів;
- Створити моделі для дослідження в програмі U-wert;
- Задати необхідні параметри для проведення дослідів;
- Провести дослідження;
- Проаналізувати отримані результати.

Об'єктом дослідження є стіновий елемент, основою якого є CLT-панелі різних модифікацій.

Предметом дослідження є вплив товщини CLT-панелей, матеріалу їх наповнення та наявність вентильованого фасаду на теплофізичні характеристики стінових елементів з CLT-панелей.

Методи дослідження. У даній магістерській роботі використано наступні методи дослідження:

- Загальнофізичний метод (визначення точки роси, U-wert);
- Статистичний метод – для аналізу отриманих даних.

Удосконалення теплофізичних характеристик CLT-панелей є досить важливим та необхідним завданням, оскільки це може призвести до відкриття нових, раніше не використовуваних, матеріалів у виробництві та виготовлення економічно вигідних CLT-панелей.

Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

На сьогоднішній день енергозбереження будинку є одним з найбільш важливих та актуальних завдань. Адже тепло будинку залежить не тільки від того, наскільки гарно працює система опалення, а й від того, як довго будинок зможе утримувати це тепло, не віддаючи його в навколишнє середовище.

Найбільш поширеними видами тепловтрат є: втрати тепла через стіни, стелю, підлогу, вікна та вентиляцію [1]. Оскільки площа стін є найбільшою, то і втрати саме через стіни будуть значними (близько 30% [2]). Тому, варто дослідити питання модифікації CLT-панелей, та їх утеплення за допомогою вентилязованого фасаду.

Також ключовим питанням є утворення точки роси, адже з постійним утворенням конденсату в середині стіни будь-який матеріал рано чи пізно зруйнується, а утеплювач не буде працювати як то необхідно.

1.1. Короткий опис CLT-панелей

CLT (від англ. Cross-Laminated Timber) [3,4] – поперечно-клеєна деревина. Загальний вигляд CLT-панелі наведено на рис. 1.1.

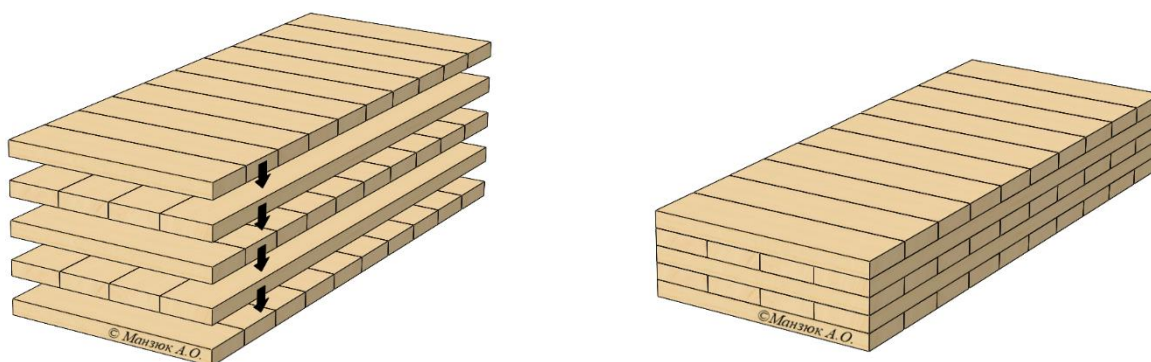


Рис. 1.1. Загальний вигляд CLT-панелі

CLT – дерев’яна панель з непарної кількості шарів ламелей, склеєних між собою в перпендикулярних напрямках. Ламелі виготовлені з пиломатеріалів хвойних порід деревини першого або другого сорту (сосна або ялина) – цільних або зрощених на шип по довжині. Вся деревина сертифікована.

Максимальний розмір CLT-панелей – 18 м по довжині і 3,5 м по ширині. Товщина – від 3-х до 7-ми шарів або від 60 до 360 мм. Детальніший склад панелей наведено у табл. 1.1 та табл. 1.2.

Таблиця 1.1.

Схема набору CLT-панелі невізуальної якості поверхні

| К-сть шарів | Товщина, мм | Конструкція панелі | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|----|-------|
| | | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 | t7 |
| 3 | 60 | 20 | 20 | 20 | | | | |
| | 80 | 20 | 40 | 20 | | | | |
| | 90 | 30 | 30 | 30 | | | | |
| | 100 | 30 | 40 | 30 | | | | |
| | 120 | 40 | 40 | 40 | | | | |
| 5 | 100 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| | 120 | 30 | 20 | 20 | 20 | 30 | | |
| | 140 | 40 | 20 | 20 | 20 | 40 | | |
| | 160 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | | |
| | 180 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | | |
| | 200 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | | |
| | 220 | 20/40 | 30 | 40 | 30 | 40/20 | | |
| | 240 | 40/40 | 20 | 40 | 20 | 40/40 | | |
| | 260 | 40/40 | 30 | 40 | 30 | 40/40 | | |
| | 280 | 40/40 | 40 | 40 | 40 | 40/40 | | |
| | 300 | 40/40 | 30 | 40/40 | 30 | 40/40 | | |
| 320 | 40/40 | 40 | 40/40 | 40 | 40/40 | | | |
| 7 | 280 | 20/40 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 40/20 |
| | 340 | 40/40 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 40/40 |
| | 360 | 40/40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40/40 |

Таблиця 1.2.

Схема набору CLT-панелі візуальної якості поверхні

| К-сть шарів | Товщина, мм | Конструкція панелі | | | | |
|-------------|-------------|--------------------|----|----|----|----|
| | | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 |

| | | | | | | |
|---|----|----|----|----|--|--|
| 3 | 60 | 20 | 20 | 20 | | |
| | 80 | 20 | 40 | 20 | | |
| | 90 | 30 | 30 | 30 | | |

Продовження таблиці 1.2.

| | | | | | | |
|---|-----|-------|----|----|----|-------|
| | 100 | 30 | 40 | 30 | | |
| 5 | 100 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 120 | 30 | 20 | 20 | 20 | 30 |
| | 140 | 40 | 20 | 20 | 20 | 40 |
| | 160 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 |
| | 180 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| | 200 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | 220 | 20/40 | 30 | 40 | 30 | 40/20 |

Будинки з поперечно-клеєної деревини на 30% легше конструкцій зі сталі і бетону, тому висуваються менші вимоги до фундаменту будівлі. Також повністю відсутня усадка. Матеріал є сейсмостійким і екологічно чистим.

CLT-панелі мають високу стійкість до відкритого вогню (швидкість горіння – 0,8 мм / хв.) Зовнішня обробка може виконуватися будь-якими матеріалами без обмежень. Несучі здатності CLT-панелей вже дозволяють будувати багатопверхові будівлі, але масове впровадження CLT обмежене повільною розробкою нормативної бази такого виду будівництва.

Як вже вказано вище, CLT-панелі випускаються двох видів: візуальної і не-візуальної якості поверхні. Панелі візуальної якості можливо використовувати без зовнішньої обробки через естетичну привабливість деревини як оздоблювального матеріалу.

Технічні характеристики CLT-панелей:

- Довжина – 18000 мм;
- Ширина – 3500 мм;
- Товщина – 60 – 360 мм;
- Вологість панелей – 10-12%;
- Шумоізоляція – $R > 60$ дБ;
- Клас міцності – C24;
- Міцність на згин – 10 Н/мм²;
- Модуль зсуву – 50 Н/мм².

Теплофізичні характеристики CLT-панелей:

- Питома теплоємність – 1,6 – 2,1 кДж/кг·К;
- Стійкість до проникнення парою – 20-50;
- Теплопровідність – 0,13 Вт/м · К.

Під час проходження практики на підприємстві виробнику CLT-панелей – «REZULT HOUSE», його представники стверджували, що CLT-панелі мають достатньо низьку теплопровідність, тому такі панелі великої товщини (більше 200 мм включно) не потрібно утеплювати. Але зазвичай використовують панелі менших товщин, з додаванням необхідної кількості утеплювача. Певним чином на це впливає ціна панелей, як вже вказано вище, є панелі візуальної та невізуальної якості поверхні. Оскільки, для отримання візуальної якості поверхні застосовується додаткова операція шліфування, до того ж і панель великої товщини коштує в рази дорожче, то і ціна таких панелей значно вища. Тому доцільніше використовувати панелі менших товщин невізуальної якості поверхні, але з додатковим утепленням.

1.2. Матеріали, які можуть бути використані як наповнювач

Одним з варіантів зменшення використання деревини при виготовленні CLT-панелей є заміна певних ламелей в середніх шарах панелі наповнювачем.

Як наповнювачі для CLT-панелей можна використовувати наступні матеріали:

- Керамзит;
- Вермикуліт;
- Деревинну стружку;
- Солому злакових рослин.

Керамзит – штучний пористий заповнювач для легких бетонів, який широко використовується у сучасному будівництві. Керамзит випускається у вигляді щебню, гравію та гравійного піску [5]. Загальний вигляд керамзиту наведено на рис. 1.2. [6].

Керамзит отримують в результаті прискореного випалювання глинистих порід в печах за температури 1000 – 1200 °С. При цьому цей матеріал має значну об'ємну масу, високі теплоізоляційні характеристики та достатню міцність.

Згідно довідкових даних теплопровідність керамзиту коливається від 0,1 до 0,18 Вт/м · К. На це впливає вологість, розмір гранул, щільність сформованого шару.



Рис. 1.2. Загальний вигляд керамзиту

Переваги керамзиту:

- стійкість до холоду;
- висока міцність;
- шумоізоляція;
- теплоізоляція;
- стійкість до вогню;
- довговічність.

Недоліки керамзиту:

- висока гігроскопічність;
- дуже погано віддає вологу;
- велика вага у порівнянні з іншими утеплювачами;
- при роботі утворюється велика кількість пилу.

Вермикуліт – це природний мінерал з групи гідрослюд, який утворюється в результаті вимивання і вивітрювання біотитової слюди. Зовні він виглядає як пластинчастий кристал жовтувато-бурого кольору [7]. Загальний вигляд вермикуліту наведено на рис. 1.3 [8].

Даному матеріалу не властива схильність до гниття та розкладання під впливом природних та біологічних факторів. Завдяки цьому в ньому не поселяються гризуни, комахи та різноманітні мікроорганізми.

Говорячи про вермикуліт, варто підкреслити, що це високопористий матеріал з гарними волого-поглинаючими властивостями. Для прикладу, 100 г вермикуліту може поглинути 400 мл води. З цього можна зробити висновок, що коефіцієнт водопоглинання вермикуліту становить 400%.

Вермикуліт має своєрідну пластинчасту пористість, яка обумовлена об'ємною вагою 100—300 кг/м³ та теплопровідністю 0,065—0,09 Вт/м·К.



Рис. 1.3. Загальний вигляд вермикуліту

Переваги вермикуліту:

- має гарні тепло- та звукозахисні властивості;
- добре вбирає воду, але при цьому погано вбирає вологу з повітря;
- інертний до органічних розчинників та не розчинний у воді;
- несприятливий для життя комах та гризунів.

Недоліки вермикуліту:

- висока вартість;

- необхідна гарна вентиляція для відведення вологи;
- при роботі з дрібними фракціями утворюється багато пилу.

Стружка – невеликі за розміром частинки , які утворюються в результаті зрізання шару матеріалу. Дерев'яна стружка утворюється в результаті оброблення обрізних чи не обрізних пиломатеріалів, або заготовок на рейсмусах, фуганках, а також чотирибічних чи фрезерних верстатах. Загальний вигляд стружки наведено на рис. 1.4. [9].

Цю сировину з давна використовували для покриття стін, стелі та підлоги житлових будинків. Стружка захищала від проникнення в середину приміщення холодного повітря.

Будинки утеплені стружкою, за належного використання, роками залишалися такими, ніби їх утеплювати вчора. Але причиною зниження інтересу до утеплення таким матеріалом є поява на ринку нових, інноваційних, більш технологічних матеріалів для утеплення. Тому утеплення стружкою чи тирсою на сьогоднішній день не є досить поширеним.



Рис. 1.4. Загальний вигляд стружки

Переваги стружки:

- невисока вартість;

- екологічність;
- має гарні тепло- та звукозахисні властивості;
- проста у використанні;
- тривалий термін експлуатації.

Недоліки стружки :

- підвищена пожежна небезпека;
- сприятливе середовище для розмноження комах та гризунів;
- з часом може всідатися утворюючи порожнини;
- нестійка до біологічних уражень.

Солома – це сухі світло-жовті стебла , що залишаються після обмолоту злакових рослин (зокрема пшениця та ячмінь). Зазвичай її використовують як корм для тварин, паливо, а також для підстилки та покриття будівель [10]. Загальний вигляд соломи наведено на рис. 1.5. [11].



Рис. 1.5. Загальний вигляд соломи злакових рослин

Дослідження теплопровідності солом'яних блоків досить добре описано у статті Бікс Ю.С. та Чорний П.Г. Нижче коротко наведено методику та результати дослідження.

Дослідження проведено, використовуючи солому пшениці врожаю 2018 року. Послідовність виконання експериментальних досліджень для визначення теплопровідності солом'яних блоків:

1. Пресування блоків соломи;
2. Зволоження частини зразків до вологості 20 % та 30 %;
3. Нагрівання установки для визначення теплопровідності;
4. Стабілізація температури в заданих точках;
5. Розрахунок коефіцієнту теплопровідності за формулою Фур'є.

Результати коефіцієнту теплопровідності, які отримано в результаті розрахунків наведено у табл. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблиця 1.3.

Таблиця основних параметрів дослідів

| Критерії | Густина зразка ρ , кг/м ³ | Товщина а зразасоломи δ , м | Довжина випробувальної камери L , м | Ширина випробувальної камери B , м | Товщина металеві пластини, δ_1 м | Площа металеві пластини S , см ² | Температура гарячої сторони металеві пластини T_1 , °C | Температура гарячої сторони металеві пластини T_2 , °C | Температура холодної сторони зразка соломи T_3 , °C | Теплопровідність λ , Вт/м°C | Вологість зразку W , % |
|--|---|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|--|---|-------------------------------------|--------------------------|
| Серія 1 (без зволоження) при значенні вологості 9.4% | 60 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 110,00 | 109,97 | 17,30 | 0,051 | 9,20 |
| | 80 | 0,055 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 109,40 | 109,37 | 17,25 | 0,062 | 9,14 |
| | 100 | 0,054 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 107,50 | 107,46 | 16,47 | 0,070 | 9,28 |
| | 120 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 108,46 | 108,41 | 16,80 | 0,075 | 9,40 |
| | 140 | 0,053 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 108,35 | 108,31 | 16,53 | 0,077 | 9,37 |
| | 160 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 109,99 | 109,95 | 17,30 | 0,080 | 9,34 |
| Серія 2 (зволоження до 20%) | 60 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 110,00 | 109,97 | 17,30 | 0,060 | 19,70 |
| | 80 | 0,055 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 107,00 | 106,97 | 17,23 | 0,065 | 19,62 |
| | 100 | 0,054 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 107,00 | 106,97 | 17,00 | 0,070 | 19,57 |
| | 120 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 100,04 | 100,00 | 16,00 | 0,075 | 19,68 |
| | 140 | 0,053 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 105,00 | 104,96 | 16,00 | 0,078 | 19,92 |
| | 160 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 106,50 | 106,46 | 16,00 | 0,080 | 19,97 |
| Серія 3 (зволоження до 30%) | 60 | 0,05 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 106,50 | 106,45 | 16,50 | 0,085 | 29,67 |
| | 80 | 0,055 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 107,40 | 107,36 | 16,50 | 0,087 | 29,78 |
| | 100 | 0,054 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 105,56 | 105,52 | 17,20 | 0,092 | 29,94 |
| | 120 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 106,56 | 106,51 | 16,50 | 0,102 | 29,81 |
| | 140 | 0,053 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 107,53 | 107,47 | 17,00 | 0,110 | 29,74 |
| | 160 | 0,052 | 0,25 | 0,25 | 0,012 | 0,0625 | 100,06 | 100,00 | 17,00 | 0,115 | 29,87 |

Детальніше з проведенням дослідів, розрахунками та порівнянням їх з розрахунками інших дослідників можна ознайомитися у статті [12].

Для вибору наповнювачів CLT-панелей візьмемо до уваги наступне твердження [13]: «Фахівці стверджують, що матеріали, зокрема будівельні, з маленькими закритими порами мають нижчу теплопровідність, в той час коли матеріали з об'єднаними та великими порами мають вищий показник теплопровідності. Це пов'язано з тим, що у таких порах відбувається рух повітря, який у свою чергу супроводжується перенесенням тепла. Це явище має назву – конвекція».

Отже, для розрахунків приймаємо як наповнювач CLT-панелей стружку та солому злакових рослин. Оскільки, керамзит хоч і має досить низьку теплопровідність, але суттєвим недоліком є його вага. Використання такого матеріалу як наповнювача призведе до значного збільшення ваги всієї конструкції. Також керамзит має великі розміри, у порівняння зі стружкою чи соломою, тому щільність укладання буде досить низькою. Причиною не використання вермикуліту є його висока вартість, це призведе до підвищення вартості конструкції, до того ж для такого матеріалу необхідна гарна вентиляція. Оскільки, вермикуліт має високі показники водопоглинання, а саме: 100 г вермикуліту може увібрати 400 мл води.

Безперечно стружка та солома також мають свої недоліки, але на деревообробних підприємствах стружки є досить багато, тому її не потрібно купувати, а солома є в рази дешевшою у порівнянні з вище наведеними матеріалами. Також перевагою цих матеріалів є щільність укладання, екологічність та простота у використанні. Але потрібно враховувати той факт, що при зволоженні соломи більше ніж на 20 % вона може пліснявіти та загнивати.

1.3. Матеріали, які можуть бути використані для утеплення

Мінеральна вата [14] представляє собою тепло- і звукоізоляційний матеріал, який складається з волокон. Волокна можуть бути розташовані хаотично, переважно паралельно поверхні або переважно перпендикулярно поверхні (ламельна мінвата).

Мінеральну вату найчастіше використовують у промисловості та будівництві як тепло- і звукоізоляційний матеріал. Як правило у промисловості її використовують для ізоляції різноманітних установок, енергетичного обладнання та елементів вентиляційних систем. У будівництві мінеральною ватою утеплюють стіни, дахи, міжповерхові перекриття, системи вентиляції та інші будівельні конструкції.

Виробляють мінеральну вату з різної сировини. Найпоширенішими продуктами є грабо-базальтові гірські породи, скло-кремнієві розплави та доменні шлаки. В'язучим можуть виступати фенолоформальдегідні смоли. Їх процентний вміст не перевищує 4 %.

Описати технологію виготовлення мінеральної вати можна як перетворення розплаву на волокна методом дугтя, обертання або комбінованим. Орієнтація волокон відповідно до поверхні матеріалу залежить від властивостей сировини та технології, яку використовують.

Існує три види мінеральної вати [15]:

- **Базальтова вата** – волокна робляться з каменю базальтової породи. Сьогодні такий тип мінеральної вати найпоширеніший тому, що його термін служби перевищує 50 років.
- **Скловата** – як випливає з назви, основою для волокон служить скло, іншими словами використовуються ті ж природні мінерали, як при виробництві скляних пляшок або банок: доломіт, пісок, сода, вапняк, бура або етібор. Термін служби відносно невеликий 10-20 років, в залежності від виробника.

- **Шлаковата** – основою матеріалу є шлак, відходи металургійної галузі. Експлуатаційні характеристики та екологічність не дозволяють використовувати її при будівництві житлових будинків. Шлаковата сьогодні використовується вкрай рідко, як правило тільки для виробничих і нежитлових приміщень.

Екструдований пінополістирол – це високоякісний теплоізоляційний матеріал, що виготовляється шляхом змішування гранул полістиролу зі спеціальною вспінюючим агентом при високій температурі і тиску з подальшим витисканням з екструдера [16].

Серед утеплювачів, які застосовуються у будівництві екструдований пінополістирол має один з найнижчих коефіцієнтів теплопровідності. Це можливо завдяки суцільній мікроструктурі, яка складається з дрібних, повністю закритих пор. Тому теплопровідність становить від $0,029 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, що максимально наближене до показника теплопровідності повітря - $0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Варто зазначити, що плити екструдованого пінополістиролу не втрачають свої теплоізоляційні характеристики не тільки в умовах атмосферної вологості, але і при контакті з водою. А наявність «L» подібної кромки запобігає появі «містків холоду» та покращує кріплення плит між собою.

При виробництві екструдованого пінополістиролу, характеристики якого залежать від товщини матеріалу і його щільності, використовуються гранули полімеру, який має назву полістирол. У процесі виготовлення ці гранули плавляться і за певного тиску маса починає закипати, утворюючи піну. На цьому етапі у суміш додають спеціальні пластифікуючі добавки – газ фреон чи вуглецеві суміші. Після чого рідка маса стікає у спеціальну форму, де її спресовують за певного тиску. Коли отриманий матеріал повністю затвердів його розрізають на стандартні плити.

Близько 90% всього обсягу плити складає повітря, що і зумовило своєрідні технічні характеристики екструдованого пінополістиролу.

Область застосування екструдованого пінополістиролу дуже широка, цей утеплювач підходить для теплоізоляції практично всіх елементів будівлі: підвалів, фундаментів, дахів, зовнішніх стін, внутрішніх перегородок, плит перекриттів підвальних приміщень, горищ та мансард.

Завдяки наявності «L» пазу плити екструдованого пінополістиролу легко з'єднуються та утворюють герметичні стики, які не продуваються вітром. При монтажі цього утеплювача немає необхідності встановлювати паро- та гідроізоляційні плівки, вітрозахисні мембрани, оскільки структура пінополістиролу є вологонепроникною.

Екструдований пінополістирол може зберігати свої основні властивості за температури (від -50 до +75 градусів). Під впливом вологи матеріал залишається сухим у середині, а значить, не погіршує свої теплотехнічні параметри. Плити екструдованого пінополістиролу можна укладати безпосередньо на землю тому, що утеплювач не розкладається при контакті з лугами та солями.

Цей утеплювач відрізняється кращою теплоізоляцією у порівнянні з кам'яною ватою або скловатою, що дає можливість використовувати більш тонкі плити, за для економії корисної площі. Матеріал не деформується та роками зберігає свої початкові розміри. У зв'язку з цим у середині ізоляційного шару не виникають щілини, які призводять до появи містків холоду та неправильної роботи утеплювача.

Переваги екструдованого пінополістиролу:

- Простий спосіб монтажу;
- Тривалий термін служби;
- Не деформується, не дає усадки;
- Невелика вага;
- Низька ціна.

Недоліки екструдованого пінополістиролу:

- Розчиняється при дії бензину, мазути, дьогтю і розчинників;

- При горінні виділяються токсичні речовини – саме вони негативно діють на людину швидше, ніж чадний газ. Не можна нагрівати більше, ніж до $+75^{\circ}\text{C}$;
- Можливість руйнування гризунами.

Пінополіуретан (ППУ, поліуретанова піна) – це різновид газонаповнених пластмас. За хімічним складом це пластмаса, отримана в ході термореактивної хімічної реакції, де до 5-10% – це твердий полімер, а решта складу – це інертні гази. Пінополіуретан відноситься до групи легких, але досить міцних матеріалів, має дуже низьку теплопровідність ($0,019 - 0,035 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), малу паропроникність і високу адгезію до будь-яких матеріалів (крім поліетилену, тефлону) [17].

Низька теплопровідність матеріалу дозволяє зменшити енерговитрати на опалення будинку взимку і кондиціонування – влітку. Завдяки технології напилення, пінополіуретан покриває поверхні будь-якої складності, форми та конфігурації і ми отримуємо покриття без стиків, щілин та порожнин, додатково забезпечуючи хороший рівень термо-, гідро- та шумоізоляції.

Отримання пінополіуретану відбувається безпосередньо на місці виконання робіт, тобто на будівельному майданчику, при ретельному змішуванні компонентів:

- Поліольних компонентів (компонент «А»), що містить поліоли та додаткові компоненти: каталізатори, які регулюють швидкість протікання хімічної реакції, антипірени, що підвищують пожежостійкість, гідрофобізатори – зменшують водопоглинання.
- Ізоціонатного компонента (компонент «Б»), що містить ПМДІ (полімерний діфенілметандіізоціонат).

В результаті синтезу компонента А і компонента Б (обидві речовини є похідними нафти) отримується пінополіуретан. В залежності від рецептури та режимів переробки цих компонентів є можливість отримати великий асортимент кінцевих продуктів – від м'яких еластичних матеріалів до жорстких і твердих, з різною густиною і фізико-механічними властивостями.

Оскільки, пінополіуретан фактично це є пластмаса, то необхідно бути обережним з утепленням таким матеріалом, бо хоч цей матеріал і наповнений інертними газами з середини, його поверхня закрита та не має пор, через які могло би потрапляти повітря до поверхні стіни. Тому є досить великий шанс ураження грибками такої конструкції, особливо де контактують поверхня пінополіуретані з панеллю.

Для вибору утеплювача необхідно враховувати той факт, що рухаючись від внутрішньої до зовнішньої поверхні стінового елемента, матеріали повинні мати кращу паропроникність. У свою чергу це забезпечить відведення вологого повітря з товщини стіни та мінімізує можливість утворення конденсату. Використовуючи мінеральну вату як утеплювач, ми зможемо забезпечити відведення повітря з парою з середини приміщення назовні. Використавши для утеплення екструдований пінополістирол чи пінополіуретан, які мають низьку паропроникність, ми зупинимо вологе повітря в середині панелі, де і буде утворюватися конденсат, що в результаті може призвести до руйнування конструкції. Тому для дослідження, як утеплювач, використано мінеральну вату, яка також є і екологічною, у порівнянні з екструдованим пінополістиролом та пінополіуретаном.

1.4. Вентильований фасад

Вентильований фасад [18] – це один з різновидів зовнішньої обробки стін будинку. Полягає він в кріпленні на стіну каркасу, на який вже монтуються спеціальні панелі. Такий вид не користується особливою популярністю через складність свого виконання. Але використовуючи як основу CLT-панелі, вентильований фасад монтувати набагато легше, оскільки панель по всій площині є рівною.

Основою вентиляованого фасаду є його каркас. Як правило, це металеві профілі та кронштейни, які створюють основний каркас усієї конструкції, але для цього також можна використовувати і дерев'яні бруски необхідного перерізу.

При розрахунку вентиляованого фасаду необхідно враховувати товщину утеплювача та облицювання, особливості їхньої ваги та, звичайно ж, матеріал стін.

Вентиляційний проміжок [18] – найважливіший компонент в цій системі, основна мета якого забезпечити постійну вентиляцію простору між стіною і зовнішнім декоративним матеріалом, за для відведення вологи, яка надходить з середини приміщення. Величина вентиляційного проміжку може коливатися від 10 до 60 мм та визначається вимогами виробників вентиляованих фасадів або встановлюється стандартами. Повітряний прошарок утворюється в результаті кріплення декоративного шару на певній відстані від утеплювача за допомогою спеціальної фурнітури, або вертикальний брусків необхідного січення.

Вітро-вологозахисна мембрана необхідна при використанні утеплювальних матеріалів таких як мінеральна вата.

Як відомо, волокнисті матеріали, такі як базальтова, мінеральна вата, чутливі до вологи. При цьому волокна можуть видуватись вітром. Тому плити потрібно захищати. Для цього торці проклеюються спеціальною клейкою стрічкою, яка не дає вологі потрапляти в середину вати, зберігаючи при цьому її теплофізичні характеристики.

До переваг вентиляованого фасаду можна віднести:

- Безумовно, оригінальний зовнішній вигляд. Панелі можна комбінувати між собою. Особливо вдало виглядає індустріальний і урбаністичний стиль. А з використанням світлого сайдингу прекрасно виходить стиль прованс.
- Стійкість до агресивного середовища. Цей спосіб облицювання був спеціально розроблений для дуже агресивного клімату, де фарба і

штукатурка не витримують. Часті дощі, або, навпаки, посухи, вологе або солоне повітря вентиляований фасад витримає, не втративши свій зовнішній вигляд.

Недоліки вентиляованого фасаду:

- Складність конструкції.
- Додаткове навантаження на будівлю

Отже, вентиляований фасад хоч і не простий у монтажі, та все ж може витримувати більш агресивні впливи навколишнього середовища, не втрачаючи своїх характеристик.

1.5. Основні теплофізичні характеристики

Кількість тепла, яке втрачається з будинку в холодну та надходить до будинку у теплу пору року, залежить від теплофізичних властивостей огорожувальних конструкцій. В свою чергу це визначає навантаження на системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та їх вартість. Також це впливає на стабільність температурного режиму в приміщенні протягом певного періоду (при зміні температури, вологості, швидкості повітря зовні будинку, тепловіддачі системи опалення та низки інших факторів).

Підібравши оптимальні теплофізичні властивості конструкції огорожуючих конструкцій, можна виключити утворення конденсату в середині приміщення та встановити вологий режим, що позитивно позначається на теплозахисних властивостях огороження.

Тож розглянемо та дамо визначення основним теплофізичним характеристикам.

Теплопровідність – здатність матеріалу пропускати тепло крізь свою товщу від однієї стінки до іншої у разі, якщо їх температура різна. Теплопровідність характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ [19].

Коефіцієнт теплопровідності – є показником того, наскільки швидко матеріал може поглинати тепло з навколишнього середовища [20]. Обчислити коефіцієнти теплопровідності можна за наступною формулою:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{S\tau\Delta t}; \text{ Вт/м} \cdot \text{ К} \quad (1.1)$$

де: δ – товщина матеріалу, м; Q – загальна кількість тепла, що проходить через стінку, Дж; τ – час теплопередачі, с; Δt – різниця температур гарячої та холодної стінок, К; S – площа теплопередачі, м².

Теплоємність – здатність матеріалу вбирати тепло під час нагрівання. Показник – питома теплоємність, яка дорівнює кількості тепла, необхідного для нагрівання одиниці маси матеріалу на 1 К.

Питома теплоємність залежить від походження й особливостей структури матеріалів, їхньої вологості і температури. Так, для природних і штучних кам'яних матеріалів $c = 0,754...0,921$, для скла $c = 0,335...1,047$, для лісових матеріалів $c = 2,394...2,73$ кДж/(кг·°С). Теплоємність, як і теплопровідність, не є фізичною константою матеріалу. Вона змінюється в залежності від температури [19].

Питома теплоємність – це фізична величина, що характеризує речовину і чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °С [21]. Питома теплоємність можна визначити за формулою 1.2.

$$c = \frac{Q}{mt}; \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{С)} \quad (1.2)$$

де Q – кількість теплової енергії, Дж; m – маса продукту, кг; t – різниця температур, °С.

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції характеризує її теплоізоляційну здатність, тобто можливість зменшення кількості тепла, що проходить крізь неї. Опір теплопередачі залежить від теплофізичних властивостей матеріалів з яких складається конструкція, а також від порядку їх розташування по товщині огороження [22].

Опір теплопередачі позначається великою буквою **R**, одиниця виміру $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$) [23].

Існують певні нормативні показники опір теплопередачі ($\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) згідно з **ДБН В .2.6 -31:2006**, для території України. Ці показники визначають чотири температурні зони:

Для 1 кліматичної зони - $R 2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Для 2 кліматичної зони - $R 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Для 3 кліматичної зони - $R 2,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Для 4 кліматичної зони - $R 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Опір теплопередачі для кожного шару матеріалу багат шарової конструкції можна визначити з наступною формулою:

$$R_i = \frac{1}{\lambda_i} \cdot \frac{x_i}{b_i l_i}; \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (1.3)$$

де: x_i , b_i , l_i – відповідно товщина, ширина та довжина i -го шару, м; λ_i – коефіцієнт теплопровідності i -го шару, Вт/м · К.

Еквівалентний опір передачі багатошарової конструкції можна визначити за формулою 1.4.

$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i; \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (1.4)$$

де: n – кількість шарів панелі, для яких розраховано опір теплопередачі.

1.6. Табличні значення основних теплофізичних характеристик

У табл. 1.4 наведено значення коефіцієнту теплопровідності за певної щільності для основних матеріалів.

Таблиця 1.4.

Значення коефіцієнту теплопровідності

| Назва матеріалу | Щільність ρ , кг/м ³ | Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м · К) |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| Сосна (вздовж волокон) | 520 | 0,18-0,29 |
| Сосна (поперек волокон) | 520 | 0,09-0,14 |
| Керамзит | 250...800 | 0,1-0,18 |
| Вермикуліт | 100-300 | 0,065-0,09 |
| Стружка | 125 | 0,08 |
| Мінеральна вата | 20 | 0,032 |
| Мінеральна вата | 60 | 0,04 |
| Екструдований пінополістирол ЕППС | 30 | 0,035 |

Продовження таблиці 1.4.

| | | |
|----------------|-------|-------------|
| Пінополіуретан | 16-55 | 0,019-0,035 |
| Скляна вата | | 0,03 |

| | | |
|----------------|----------|-------------|
| Вата бавовняна | 30...100 | 0,042-0,049 |
| Вата бавовняна | 50...80 | 0,042 |
| Торф'яні плити | 215 | 0,052-0,075 |

1.7. Точка роси та її утворення

Точка роси (ТР) [24] – це температура, при якій водяна пара конденсується і перетворюється на воду. При цьому у повітрі утворюється туман, а на холодних поверхнях випадає конденсат (роса). Точка роси залежить в першу чергу від вологості повітря.

Залежно від температури всередині приміщення, температури зовні, теплоізоляційних властивостей стіни будівлі, точка роси може перебувати на внутрішній або зовнішній поверхні стіни, або всередині стіни. Тобто десь на поверхні чи в середині стіни буде така температура, при якій водяна пара буде конденсуватися.

При зміні температур і вологості повітря як всередині так і зовні приміщення, точка роси буде зміщуватися по товщині стіни. Утеплюючи будівлю, ми також змінюємо місце знаходження точки роси по товщині стіни, оскільки температура стіни при утепленні зміниться.

На рис. 1.6 – рис. 1.8 наочно видно, як при зміні температури по товщині стіни, змінюється положення точки роси в залежності від застосованого утеплення. Вказана приблизна ситуація. Точне розташування точки роси, звичайно ж буде визначатися тільки розрахунком в залежності від товщини і теплопровідності матеріалів стіни і утеплювача, від температури зовні і всередині будівлі, від вологості повітря зовні і всередині, та від інших факторів, що мають менше значення.

Звичайна стіна без утеплення рис. 1.6 [25]. З підвищенням вологості повітря і з пониженням зовнішньої температури, точка роси зміщується ближче до внутрішньої поверхні стін. Для «холодних» стін не рідкісні випадки знаходження ТР всередині приміщення.

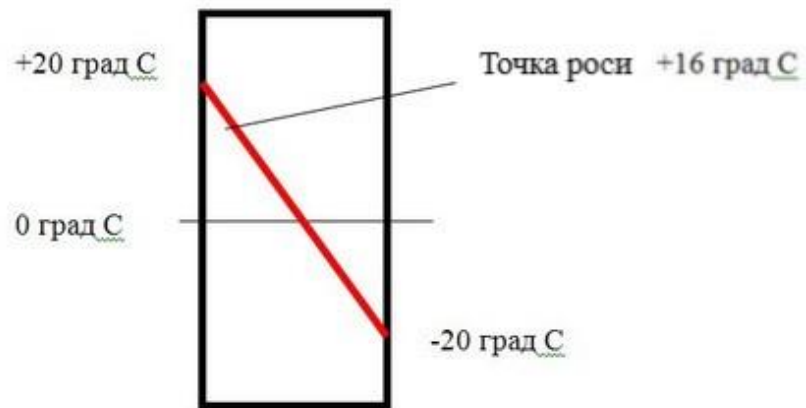


Рис. 1.6. Стіна без утеплення

Стіна з недостатнім утепленням рис. 1.7 [25]. При охолодженні точка роси зміщується з утеплювача на стіну.

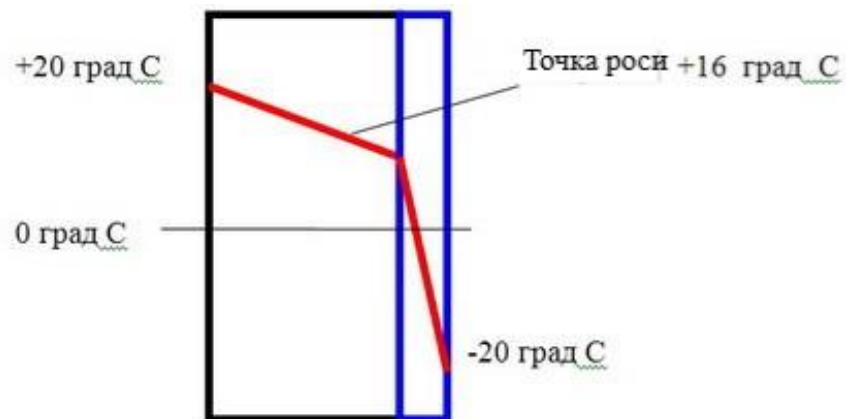


Рис. 1.7. Стіна з недостатнім утепленням

Стіна з нормальним утепленням рис. 1.8 [25]. Точка роси знаходиться в утеплювачі, навіть в дуже холодну пору.

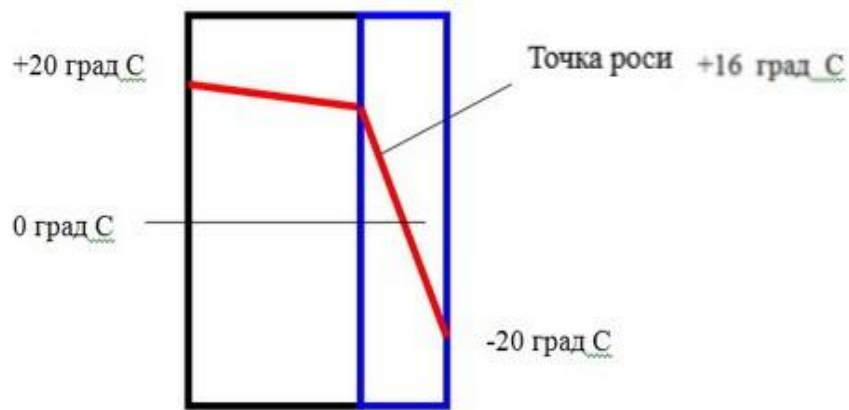


Рис. 1.8. Стіна з нормальним утепленням

Тому, чим ближче ТР до внутрішньої поверхні, тим вологіше буде стіна зсередини будівлі. Не рідкісні варіанти, коли ТР в холодну пору зміщується зовсім близько до внутрішньої поверхні або ж знаходиться прямо на ній. За таких обставин на мокрій стіні за 2 - 3 роки утворюються цвіль і грибок, внутрішнє оздоблення руйнується, в приміщенні з'являється підвищена вологість і несприятливі для життя умови.

1.8. Висновки до розділу

У цьому розділі наведено короткий опис, схеми набору CLT-панелей візуальної та не візуальної якості поверхні, а також їх технічні та теплофізичні характеристики. Розглянуто матеріали, які використані для внутрішнього наповнення CLT-панелей, з метою порівняння розподілу температур та розташування точки роси по товщині суцільної панелі та панелі з наповнювачем. Описано будову вентиляованого фасаду та матеріалів, які можна використовувати як утеплювач та обґрунтовано вибір цих матеріалів. Також наведено основні теплофізичні характеристики та формули для їх розрахунку.

Розділ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цьому розділі описано вибір та обґрунтування розмірів, матеріалу та кількості шарів стінових елементів. Наведено види стінових елементів та детально розглянуто кожне з них. Спираючись на відповідні державні норми, обрано значення температурних навантажень. Після чого створено моделі стінових елементів та проведено їх дослідження використовуючи програмний продукт U-wert [26].

Методику проведення досліджень можна розділити на такі основні етапи:

1. Розробка конструкції панелей.
2. Вибір параметрів термічних навантажень.
3. Моделювання панелей в U-wert та проведення розрахунків.
4. Аналіз результатів.

2.1. Формування стінового елемента з CLT-панелі.

2.1.1. Вибір та обґрунтування розмірів стінових елементів

Для проведення розрахунків більш важливе значення має товщина панелі, а не її габаритні розміри. Враховуючи те, що CLT-панелі виробляють значних розмірів по довжині та ширині, 18 м та 3,5 м відповідно, немає необхідності створювати модель для дослідження таких великих розмірів. Оскільки, для дослідження розташування точки роси та теплофізичних характеристик необхідно розглядати стіновий елемент за товщиною. Тому, приймаємо розмір моделі для розрахунків довжиною та шириною 1×1 м відповідно.

Товщину панелі виберемо виходячи з табл. 1.1. Виключаючи фактор кількості шарів панелі, для розрахунків візьмемо п'ятишарові панелі невізуальної якості поверхні. Оскільки, переважно використовують панелі товщиною 100 мм та

120 мм, через їх поширеність на ринку, то приймаємо саме ці розміри для подальших розрахунків. Також проведемо розрахунки для панелей товщиною 200 мм, для того, аби визначити чи потрібно утеплювати CLT-панелі таких великих товщин.

Ламелі, з яких виготовляють вищенаведені панелі, також можуть мати різну товщину та ширину. Товщина ламелей обирається зі схеми набору відповідної CLT-панелі, а ширина може коливатися в межах від 125 мм до 193 мм. Перебуваючи на підприємстві під час практики, для виготовлення панелей використовували ламелі шириною 159 мм. Оскільки, середнє значення між 125 мм та 193 мм також становить 159 мм, то для розрахунків будемо використовувати саме цю ширину ламелей.

Як вже сказано у першому розділі, панелі виготовляють з деревини хвойних порід (сосна або ялина). Враховуючи те, що деревина ялини містить велику кількість сучків та їх підвищену твердість, така деревина гірше обробляється різальним інструментом. Також деревина ялини є м'якшою за деревину сосни, а для забезпечення кращих механічних властивостей панелей бажано використовувати деревину з більшою твердістю. Тому для подальших розрахунків використано деревинні матеріали породи сосна.

2.1.2. Вибір наповнювачів та матеріалів для утеплення CLT-панелей

У підрозділі 1.2. першого розділу наведено матеріали, які можуть бути використані для наповнення панелей, з їх перевагами та недоліками. Після чого, вибрано матеріали для подальших розрахунків та обґрунтовано їх вибір.

У підрозділі 1.3. першого розділу описано матеріали, які можуть бути використані для утеплення панелей з боку навколишнього середовища. Після чого аналогічно рвибрано матеріал та наведено обґрунтування щодо вибору.

2.1.3. Визначення теплофізичних параметрів матеріалу

Безпосередньо для розрахунків точки роси та теплотехнічних характеристик потрібно мати значення наступних параметрів:

- Щільність матеріалів;
- Коефіцієнт теплопровідності;
- Коефіцієнт опору водяній парі;
- Теплоємність (для розрахунку теплоакумулюючої здатності).

Параметри щільності та коефіцієнту теплопровідності наведено у табл. 1.3 (для соломи) та табл. 1.4 (для решти матеріалів). Коефіцієнт опору водяній парі для сосни та мінеральної вати взято безпосередньо з програмного продукту U-wert. Для сосни даний показник (μ) становить 20, а для мінеральної вати – 1. Для стружки коефіцієнт опору водяній парі взято з дослідницького проекту [27]. При щільності стружки 125 кг/м^3 , $\mu = 2,5$. Згідно STROHBAURICHTLINIE [28] (керівництво з солом'яного будівництва) для соломи коефіцієнт опору водяній парі становить 2.

Для кращого сприйняття вищенаведених параметрів їх значення зведено до табл. 2.2.

Таблиця 2.1.

Зведена інформація щодо основних параметрів матеріалів

| Назва матеріалу | Щільність ρ , кг/м^3 | Коефіцієнт теплопровідності λ , $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$ | Коефіцієнт опору водяній парі μ | Теплоємність c , $\text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ |
|-----------------|---------------------------------------|--|---|--|
| Сосна | 520 | 0,13 | 20 | 1600 |
| Стружка | 125 | 0,08 | 2,5 | 1088 |
| Солома | 80 | 0,062 | 2 | 2000 |
| Мінеральна вата | 20 | 0,032 | 1 | 830 |

2.2. Види стінових елементів, що досліджують

Для розрахунків взято наступні види панелей:

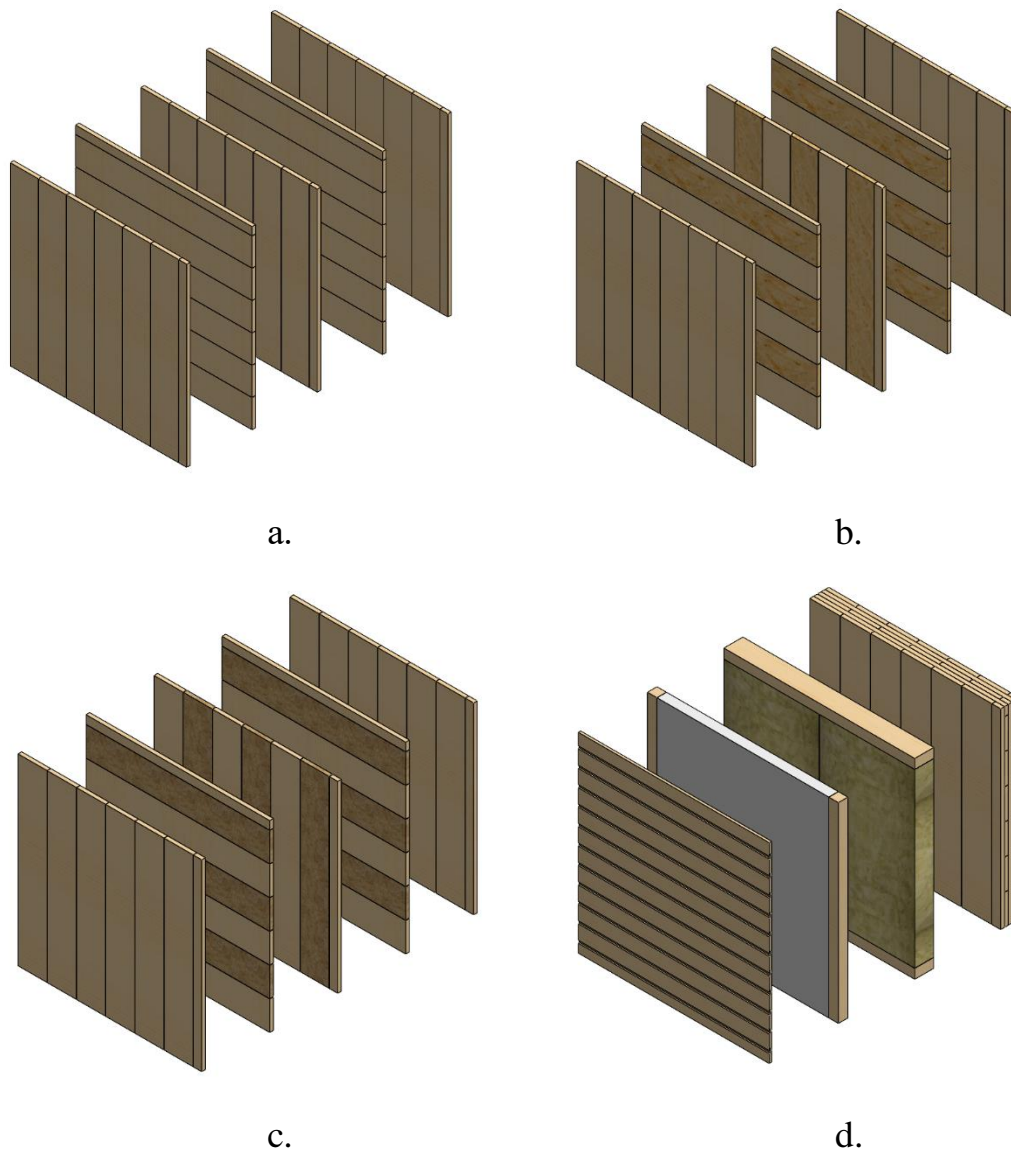


Рис. 2.1. Види стінових елементів

- a. Суцільна панель товщиною 100 мм; 120 мм; 200 мм;
- b. Панель із заповненням стружкою товщиною 100 мм; 120 мм; 200 мм;
- c. Панель із заповненням соломою товщиною 100 мм; 120 мм; 200 мм;
- d. Всі вищенаведені варіанти CLT-панелей з вентиляльованим фасадом.

Розглянемо детальніше кожен вид стінових елементів.

2.2.1. Суцільні CLT-панелі

Коротко розглянемо виготовлення CLT-панелей на підприємстві. Ламелі для поперечного та поздовжнього шарів, спочатку обробляють за перерізом. Після чого, за допомогою вакуумного штабелера їх почергово подають на складальний

стіл спочатку ламелі для поперечного шару, потім ламелі для поздовжнього шару, при цьому на кожен шар наноситься однокомпонентний поліуретановий клей PURBOND HB S109. В результаті сформований пакет з необхідної кількості шарів подається в X-Press, де і проходить процес пресування за тиску 11 atm. Час технологічної витримки становить 35 хв. Після чого вже готова панель відправляється на обробку за периметром.

Для дослідів габаритні розміри панелей становлять: довжина – 1 м, ширина – 1 м, товщина – 100 мм, 120 мм, 200 мм.

2.2.2. Панелі з наповненням стружкою або соломою

На підприємстві «Rezult House» виготовляють виключно суцільні CLT-панелі, але з метою зменшення використання деревинних матеріалів та винайдення нових видів CLT-панелей доцільно створити та дослідити панелі з використанням наповнювачів стружки або соломи.

Для того, щоб виготовити моделі стінових елементів з CLT-панелі з наповнювачами, потрібно створити комірки в середині панелі, в які буде закладатися наповнювач. Для утворення комірок з шару забирається кожна друга ламель. При цьому розмір комірки, яка утворюється залежить від поперечного перерізу та довжини ламелей, що забираються.

Панель для дослідження складається з двох суцільних шарів та трьох шарів з наповнювачами. Зовнішній та внутрішній шари є суцільними та виконують функцію утримання наповнювача в середині панелі. В свою чергу середні шари утримують безпосередньо сам наповнювач та забезпечують деяку жорсткість конструкції, оскільки їх склеюють перехресно.

При наборі панелі спочатку формується суцільний шар, після чого спресовані блоки соломи вкладають у створені комірки по мірі формування шарів та знову закриваються суцільним шаром. Аналогічним чином формується панель з наповненням стружкою, з тією різницею, що стружку засипають у комірки.

2.2.3. Панелі з вентиляльованим фасадом

Для виготовлення стінових елементів з вентиляльованим фасадом за основу беруться панелі: суцільні та з наповнювачем. Товщина панелей – 100 мм, 120 мм та 200 мм. Після чого, до панелі закріплюють горизонтальні бруси перерізом 100×50 мм з кроком рівним висоті мінеральної вати. Між брусами вкладаються плити мінеральної вати товщиною 100 мм. Для забезпечення повітряного прошарку до горизонтальних брусів кріплять вертикальні бруски шириною 50 мм, при цьому товщина брусків залежить від розміру повітряного прошарку, що необхідний. Величина повітряного прошарку коливається в межах 10-60 мм (для розрахунків величина повітряного прошарку становить 30 мм). Завершальним етапом є монтаж профільованих брусків, розміри яких наведені на складальному кресленні ДРМ2022.03.00.00.СК, поданого у додатку А.

2.3. Значення температурних навантажень, які закладалися для досліджень

Для проведення досліджень необхідно мати параметри температури та вологості як в середині, так і зовні приміщення.

Розрахункові значення температури та відносної вологості внутрішнього повітря приміщень наведено у табл. 2.2 згідно додатку Б ДБН В.2.6.-31:20XX [29], а розрахункові значення температури зовнішнього повітря – у табл. **Ошибка!**

Источник **ссылки** **не** **найден.,** **згідно**
ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [30].

Таблиця 2.2.

Розрахункові значення температури й відносної вологості внутрішнього повітря приміщень (для теплотехнічних розрахунків)

| | |
|---------------------|--|
| Призначення будівлі | Розрахункові значення показників внутрішнього повітря: |
|---------------------|--|

| | температури t_B , °C | відносної вологості φ_B , % |
|---|------------------------|-------------------------------------|
| Житлові будівлі та готелі | 20 | 55 |
| Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси, заклади торгівлі | 20 | 50 |
| Заклади освіти та заклади охорони здоров'я | 21 | 50 |
| Заклади дошкільної освіти | 22 | 50 |

Таблиця 2.3.

Кліматологічні показники (характеристики) архітектурно-будівельних кліматичних районів та підрайонів

| Кліматичний район, підрайон | Температура повітря, °С | | | | Кількість опадів за рік, мм | Відносна вологість у липні, % | Середня швид- кість вітру у січні, м/с | |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| | середня за | | абсолют ний мінімум | абсолю тний максим ум | | | | |
| | січень | липень | | | | | | |
| I – Північно-західний | Від -5 до -8 | Від 18 до 20 | Від -37 до -40 | Від 37 до 40 | Від 550 до 700 | Від 65 до 75 | Від 3 до 4 | |
| II – Південно східний | Від -2 до -6 | Від 21 до 23 | Від -32 до -42 | Від 39 до 41 | Від 400 до 500 | Менше 65 | Від 4 до 6 | |
| III – Українські Карпати | III А – Карпатський | -7 | 14 | -38 | 35 | 1600 | Від 77 до 81 | 3 |
| | III Б – Закарпатський | -4 | 19 | -32 | 39 | 1000 | Більше 70 | 3 |
| IV – Південний берег Криму | 3 | 23 | -20 | 39 | 600 | Менше 60 | Від 4 до 5 | |
| V – Кримські гори | -4 | 16 | -27 | 32 | 1060 | 70 | Від 4 до 5 | |

Отже, оскільки CLT-панелі призначені здебільшого для будівництва житлових будинків, тому, основувшись на табличні значення наведені вище, приймаємо температуру повітря в середині приміщення 20 °С. Відносну вологість в середині приміщення приймаємо 55 %.

Проаналізувавши табл. 2.3 та карту архітектурно-будівельного кліматичного районування території України (рис. 1 [30]), прийшов до висновку, що проводити дослідження доцільніше для першого та другого кліматичного району. Оскільки, середня температура в зимовий період є нижчою, при цьому ці дві зони охоплюють більшу частину території України. Тому для подальших розрахунків приймаємо температуру навколишнього середовища -6 °С, а вологість 70%.

2.4. Моделювання стінових елементів з CLT-панелей

Для дослідження створено стінові елементи у двох програмних продуктах SolidWorks та U-wert. Попередньо, провівши дослідження панелі товщиною 100 мм та порівнявши результати, встановлено, що різниця в результатах є досить

значною. Це спричинено тим, що SolidWorks не враховує великої кількості теплофізичних показників матеріалів, як це закладено в U-wert, тому подальший розрахунок проведено саме в цьому програмному продукті. Загальний вигляд інтерфейсу U-wert наведено на рис. 2.2.

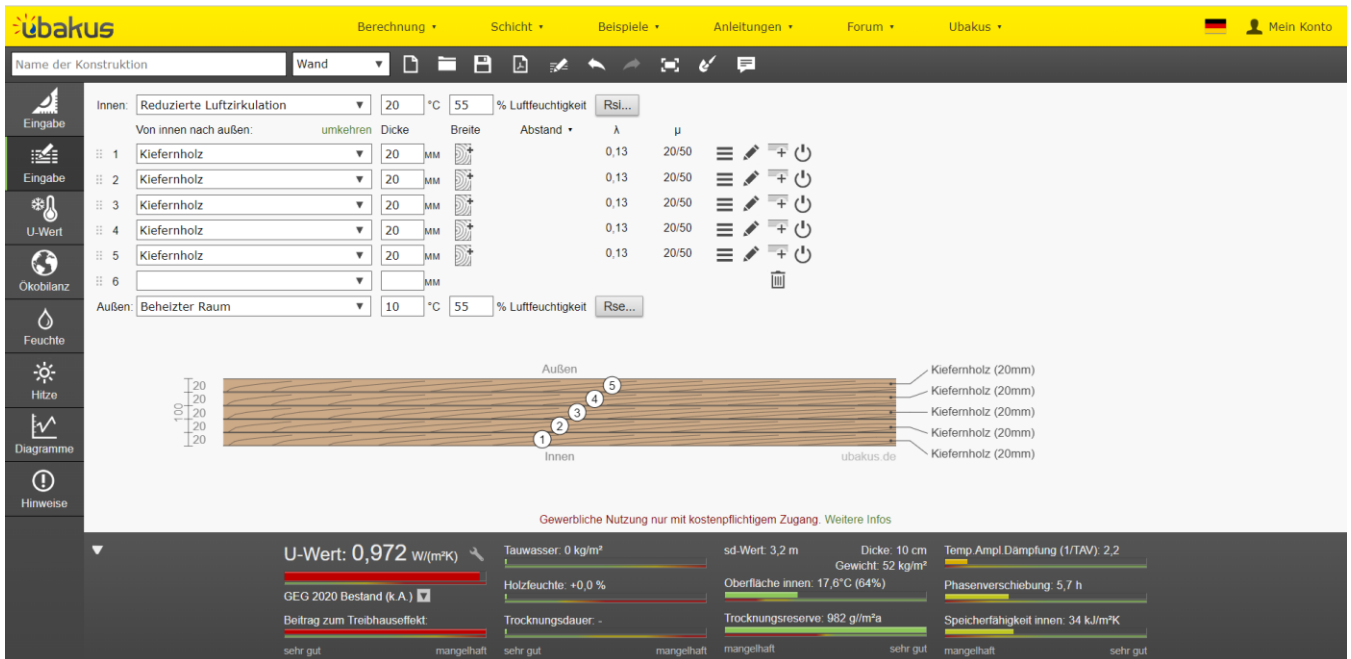


Рис. 2.2. Загальний вигляд робочого поля програмного продукту U-wert

Методика створення стінових елементів.

Створення суцільної CLT-панелі почнімо з вибору будівельного матеріалу. На вкладці «Eingabe» («Введення») у верхній частині робочого поля у списку шарів вибираємо: «Holz» → «Vollholz» → «Kiefernholz» («Деревина») → «Тверда деревина» → «Сосновий ліс»). Після чого в комірці «Dicke» задаємо товщину 20 мм. Аналогічні операції проводимо для наступних 4 шарів. Останнім кроком вказуємо параметри температури та вологості в середині приміщення (відповідно 20 °C та 55%) та зовні приміщення (відповідно -6 °C та 70%).

Для створення панелі з наповнювачами необхідно виконати наступні дії. В розділі «Meine Baustoffe» («мої будівельні матеріали») створюємо наповнювачі «стружка» та «солома». Для першого та другого шару вибираємо: «Holz» →

«Vollholz» → «Kiefernholz» та задаємо товщину 20 мм. Для другого шару потрібно задати наповнювач, натиснувши на кнопку «Balkenlage einfügen» («Позиція вставки») та вказати раніше створений матеріал «стружка» чи «солома». В стовбці «Breite» («Ширина») задаємо ширину наповнювача 159 мм, а в стовбці «Abstand» («Відстань») задаємо відстань між наповнювачами – 159 мм. Для третього шару вибираємо наповнювач «стружка/солома» з розділу «Meine Baustoffe» та задаємо товщину 20 мм. Для четвертого шару проводимо аналогічні кроки, що і для другого шару, а для п'ятого – як для першого шару. Параметри температури та вологості вказуємо такі ж, як і для суцільної панелі.

Для створення панелей з вентиляльованим фасадом потрібно до кожного з раніше створених варіантів панелей додати утеплювач (мінеральна вата) та вентиляльовану навісну стіну. Для цього із списку шарів вибираємо: «Dämmmatten» → «Mineralwolle» → «Mineralwolle WLG032» («Ізоляційні матеріали» → «Мінеральна вата» → «Мінеральна вата WLG032») та задаємо товщину 100 мм. Після чого в останньому рядку списку шарів змінюємо «Direkter Übergang zur Außenluft» («Прямий вихід на зовнішнє повітря») на «Hinterlüftete Vorhangfassade» («Вентильована навісна стіна»). Аналогічно до перших двох випадків задаємо параметри температури та вологості.

Результати проведених розрахунків наведено у третьому розділі.

Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

У цьому розділі записано всі результати розрахунків, які отримано в ході дослідження стінових елементів з CLT-панелей (описаних у пункті 2.2. другого розділу) та проведено їх аналіз.

3.1. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 100 мм

Загальний вигляд стінових елементів товщиною 100 мм з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.1, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.1.

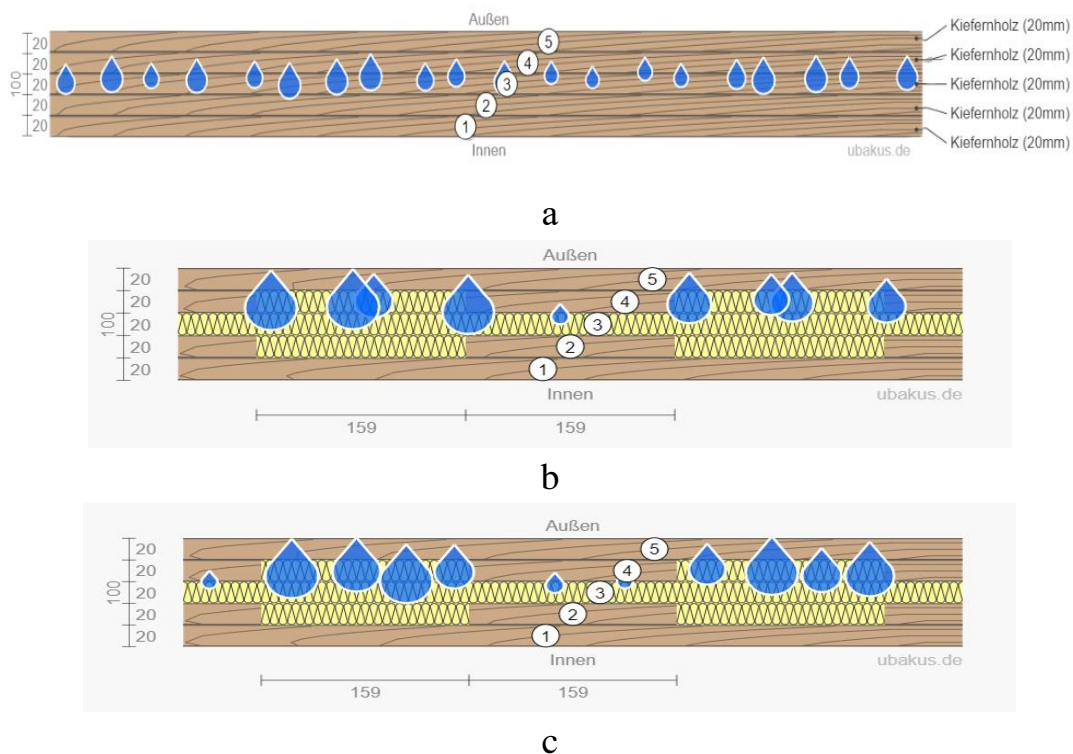


Рис. 3.1. Загальний вигляд стінових елементів товщиною 100 мм

де: а – суцільна панель; b – панель з наповненням стружкою; с – панель з наповненням соломною.

Таблиця 3.1.

Зведена таблиця результатів дослідження стінових елементів t-100 мм

| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням соломною |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 1,065 | 0,896 | 0,809 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0,35 | 1,4 | 1,5 |
| Holzfeuchte ³ | % | +3,3 | +12,2 | +12,7 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | 30 | 77 | 81 |
| sd-Wert ⁵ | м | 3,2 | 2 | 2 |
| Oberfläche innen ⁶ | °С | 13,9 | 14,4 | 14,8 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 697 | 274 | 195 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 2,2 | 2,1 | 2,3 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 5,8 | 5,5 | 5,8 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 34 | 24 | 24 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 83 | 69 | 62 |

Примітка:

1 – теплопроникність (кількість енергії, що проходить через одиницю площі поверхні конструкції за різниці температур в 1 К);

2 – конденсаційна вода (цей параметр вказує на те скільки конденсаційної води очікується протягом 90 днів, при заданих кліматичних умовах);

3 – вологість деревини (вологість деревини може тільки помірно підвищуватися за рахунок конденсату. Допускається 3-5%);

4 – час висихання (показує скільки часу потрібно для висихання конденсату влітку. Максимально допустимий термін висихання – 90 діб);

5 – еквівалентний повітряний прошарок (характеристика паропроникності конструкційного матеріалу);

6 – температура внутрішньої поверхні (чим нижча температура шару матеріалу в середині приміщення, тим більша його вологість. За вологості більше 70 % стіновий елемент може бути уражений грибами);

7 – резерв висихання (даний запас має забезпечити висихання незапланованого потрапляння вологи);

8 – демпфування температури (цей показник вказує на те, наскільки компонент послаблює зовнішні температурні коливання);

9 – фазовий зсув (затримка, з якою максимальна температура досягає внутрішньої частини компонента. Фазовий зсув на 12 годин вважається ідеальним);

10 – теплоакумулююча здатність (показує, скільки тепла поглинає компонент, коли кімнатна температура підвищується на 1°С, а зовнішня температура залишається незмінною).

11 – кількість тепла, що виходить через один квадратний метр цього компонента протягом опалювального періоду.

Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів наведено на рис. 3.2.

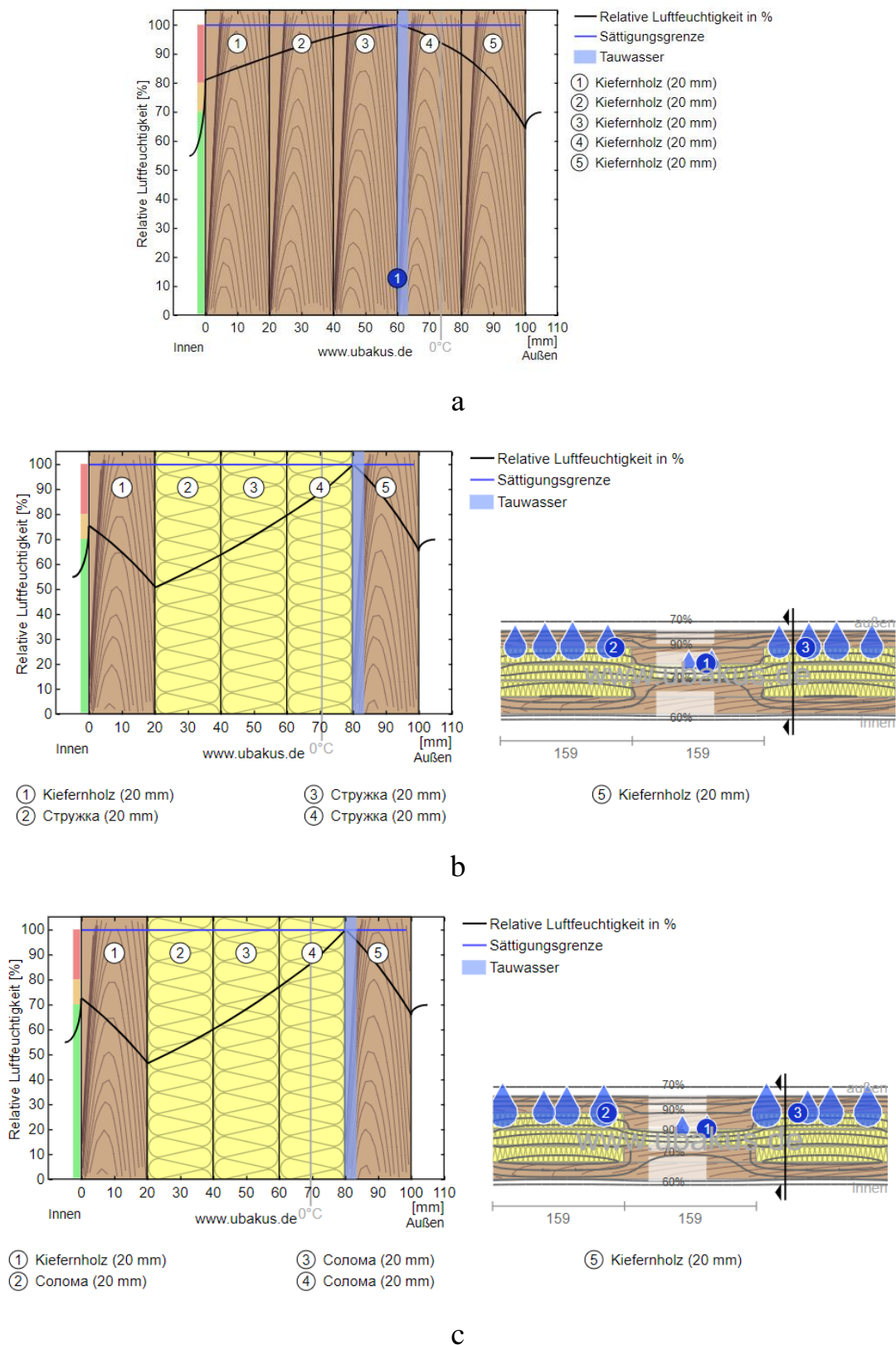


Рис. 3.2. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломою.

Для рис. 3.2 а:

1. кількість конденсаційної води: $0,35 \text{ кг/м}^2$. Уражені шари 3 та 4.

Ця кількість випарується протягом 30 днів влітку.

Для рис. 3.2 б.:

1. Кількість роси: $0,11 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, стружка;

2. Кількість роси: $0,67 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, стружка, сосна;

3. Кількість роси: $0,6 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, стружка;

Ця кількість випарується протягом 77 днів влітку.

Для рис. 3.2 с.:

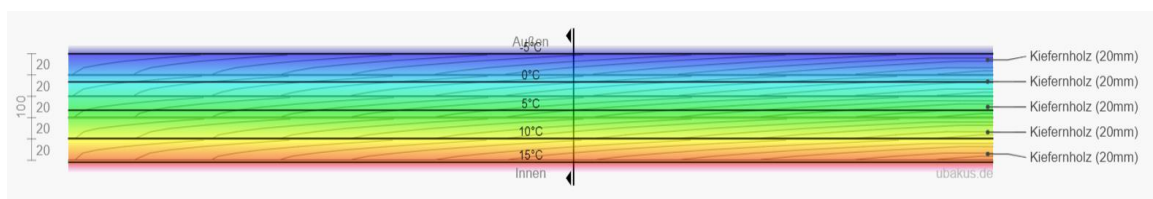
1. Кількість конденсаційної води: $0,14 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари сосна, солома;

2. Кількість роси: $0,69 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, солома, сосна;

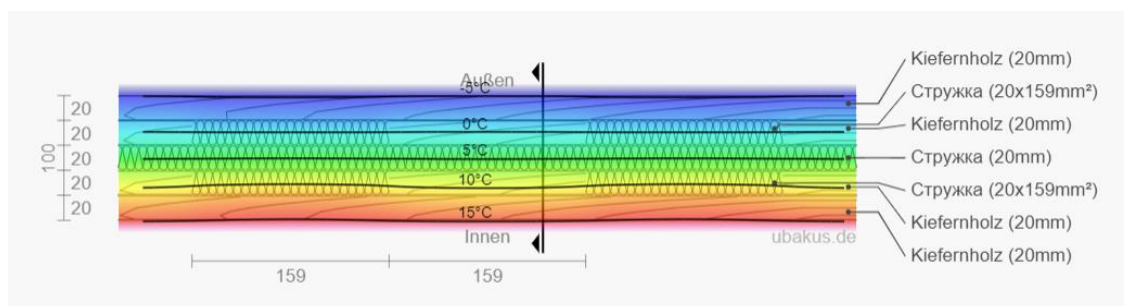
3. Кількість роси: $0,62 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, солома;

Ця кількість випарується протягом 81 дня влітку.

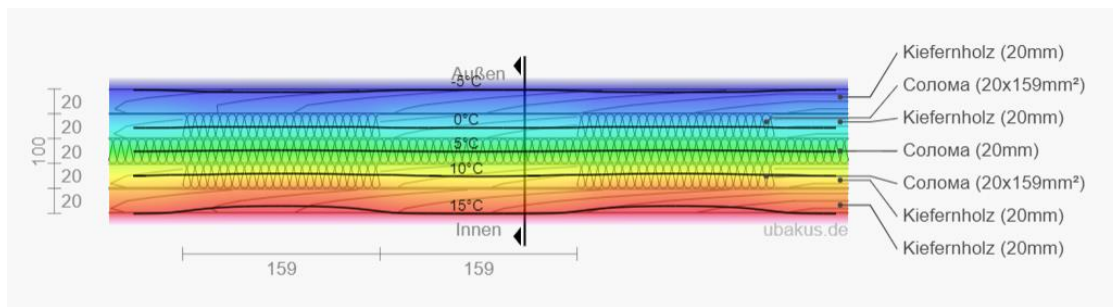
Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.3.



а



б



с

Рис. 3.3. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломкою.

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що стінові елементи з наповненням стружкою та соломкою не можна використовувати для зовнішніх стін. Оскільки, в середині панелей утворюється конденсат (рис. 3.2). Для панелі з наповненням стружкою кількість конденсату становить $1,4 \text{ кг/м}^2$, з наповненням соломкою – $1,5 \text{ кг/м}^2$, для суцільної панелі – $0,35 \text{ кг/м}^2$. При цьому максимально допустима кількість конденсату – 1 кг/м^2 . Якщо суцільна панель ще зможе випарувати вологу за 30 днів, то панель зі стружкою та соломкою зможуть випарувати її за 77 та 81 день відповідно. За таких умов в наповнювачах проходять процеси гниття, що не допустимо для стінових елементів. Також бачимо, що температура внутрішньої стіни знаходиться в межах $13,9 - 14,8 \text{ }^\circ\text{C}$, при цьому вологість внутрішнього шару є більшою за 70 %. В такому випадку стінові елементи можуть бути уражені грибами. Отже, CLT-панелі товщиною 100 мм суцільну, з наповненням стружкою та соломкою не можна застосовувати для зовнішніх стін.

3.2. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 120 мм

Загальний вигляд стінових елементів товщиною 120 мм з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.4, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.2.

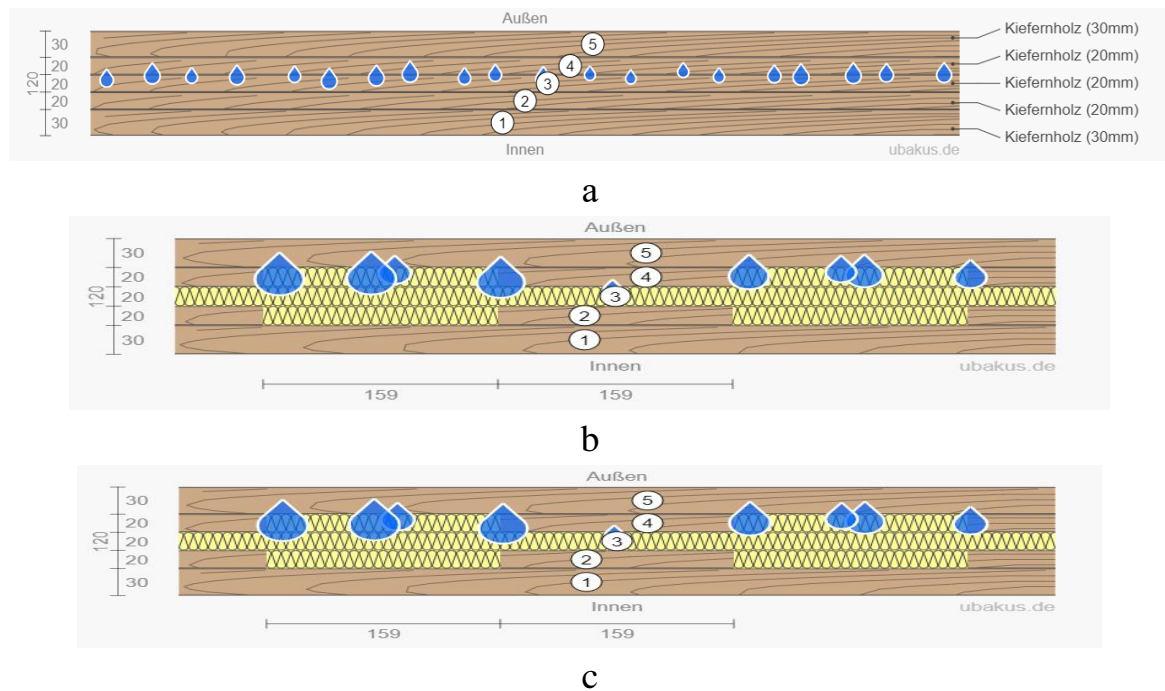


Рис. 3.4. Загальний вигляд стінових елементів товщиною 120 мм де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою; с – панель з наповненням соломкою.

Таблиця 3.2.

Результати дослідження для стінового елемента t-120 мм

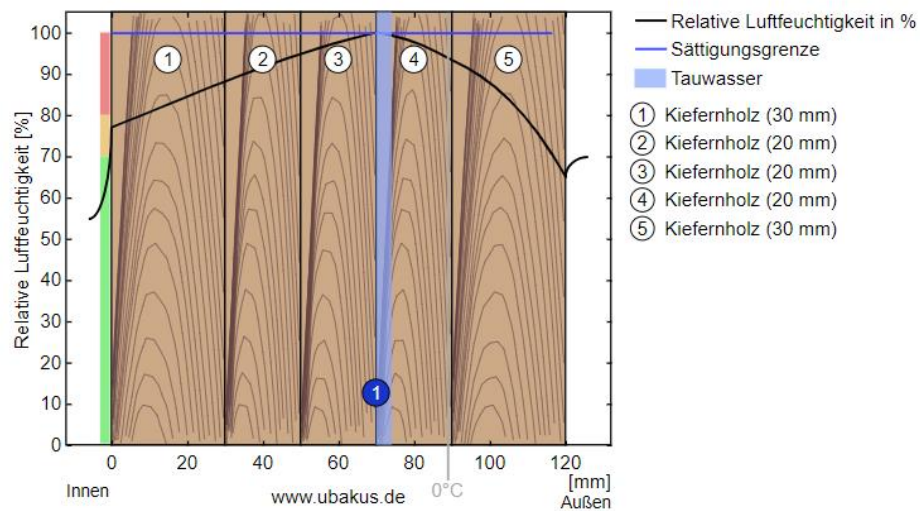
| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм, з наповненням соломкою |
|------------------------|------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,915 | 0,787 | 0,719 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0,27 | 0,95 | 1 |

| | | | | |
|------------------------------|-----|------|-----|------|
| Holzfeuchte ³ | % | +2,6 | +6 | +6,3 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | 28 | 72 | 77 |
| sd-Wert ⁵ | м | 3,9 | 2,7 | 2,7 |

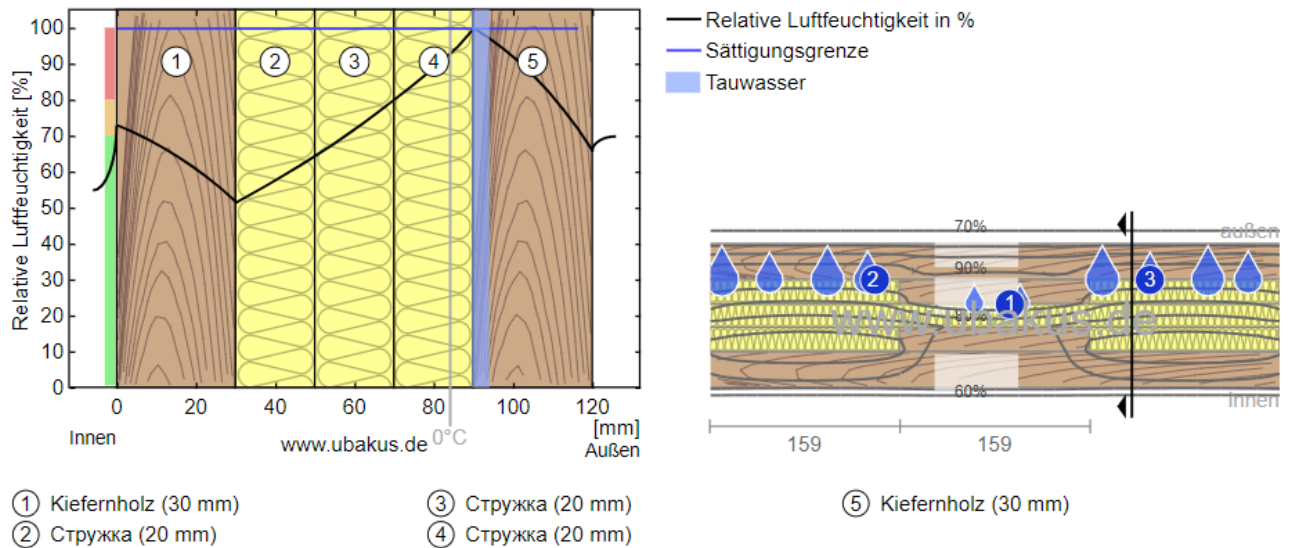
Продовження таблиці 3.2.

| | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|------|------|------|
| Oberfläche innen ⁶ | °C | 14,6 | 15,1 | 15,4 |
| Trocknungsreserve ⁷ | Г/М ² ·а | 608 | 266 | 206 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 3,1 | 2,9 | 3,2 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 7 | 6,8 | 7 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 43 | 31 | 32 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 71 | 61 | 55 |

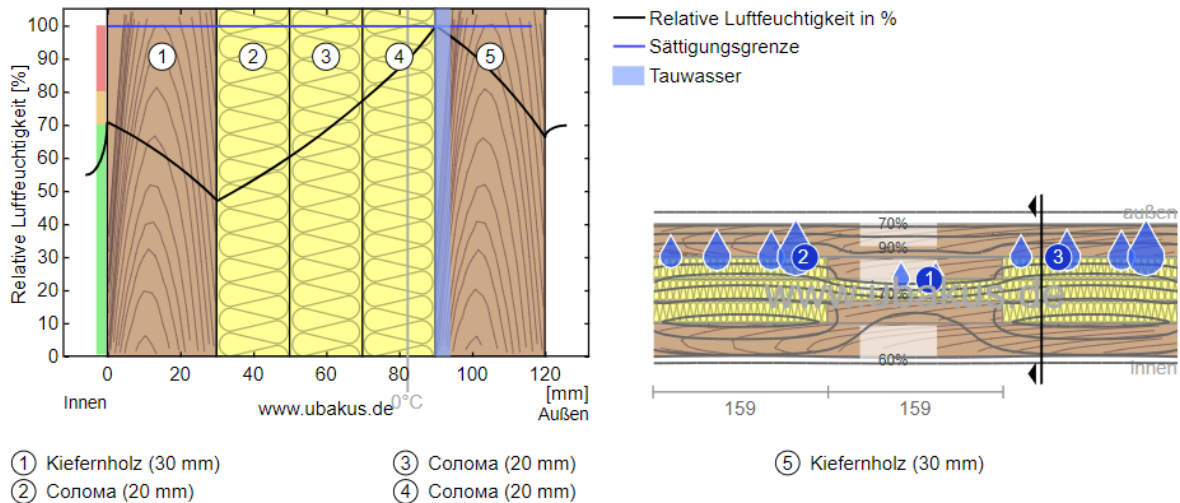
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.5.



a



b



c

Рис. 3.5. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломкою.

Для рис. 3.5 а:

1. Кількість роси: 0,27 кг/м²; Уражені шари 3 та 4.

Ця кількість висихає протягом 28 днів влітку.

Для рис. 3.5 б:

1. Кількість роси: $0,02 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, Стружка
2. Кількість конденсаційної води: $0,49 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, стружка, сосна
3. Кількість роси: $0,44 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, Стружка

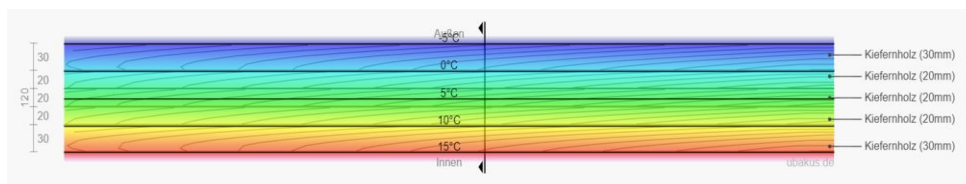
Ця кількість випарується протягом 72 днів влітку

Для рис. 3.5 с:

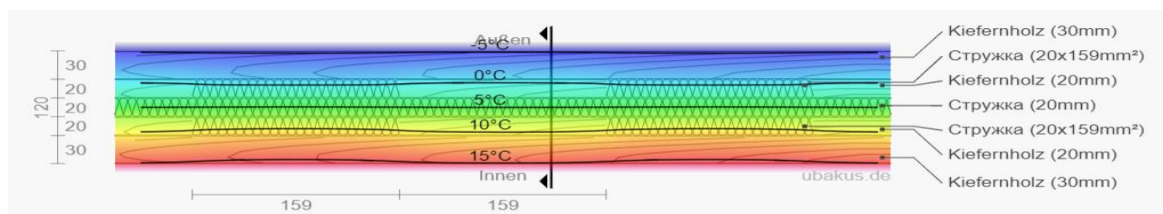
1. Кількість роси: $0,037 \text{ кг/м}^2$; Уражені яруси: сосна, солома
2. Кількість роси: $0,52 \text{ кг/м}^2$; Уражені яруси: сосна, солома, сосна
3. Кількість конденсаційної води: $0,46 \text{ кг/м}^2$; Уражені яруси: сосна, солома

Ця кількість випарується протягом 77 днів влітку

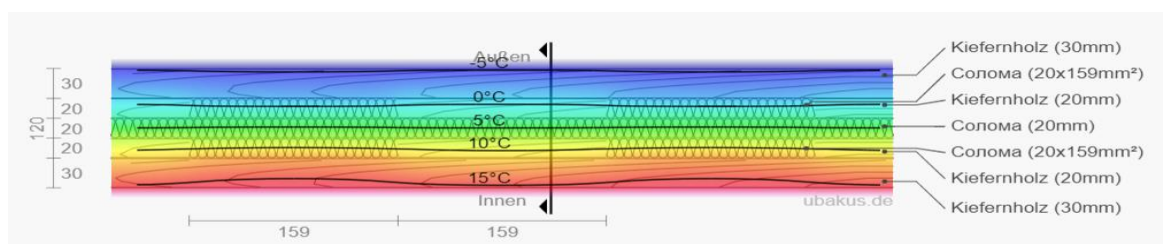
Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.6.



a



b



c

Рис. 3.6. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломою.

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що найнижчу теплопровідність має стіновий елемент наповнений соломкою ($0,719 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$), але в ньому буде утворюватися найбільша кількість вологи $1 \text{ кг}/\text{м}^2$, що призведе до загнивання соломи. Зі стружкою ситуація є аналогічною, до того ж втрати тепла становлять $61 \text{ кВт}/\text{год} \cdot \text{м}^2$. Тому такі панелі (товщиною 120 мм) застосовувати для зовнішніх стін не бажано. Якщо взяти до уваги суцільну панель то кількість конденсату становить $0,27 \text{ кг}/\text{м}^2$, а зволоження шарів панелі – $+2,6 \%$, що є в межах допусків (від 3% до 5%). Але за рахунок втрат тепла $71 \text{ кВт}/\text{год} \cdot \text{м}^2$ та теплопровідності $0,915 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ таку панель ($t=120 \text{ мм}$) не доцільно використовувати для зовнішніх стін, через її малу енергоефективність.

3.3. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 200 мм

Загальний вигляд стінових елементів товщиною 200 мм з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.7, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.3.

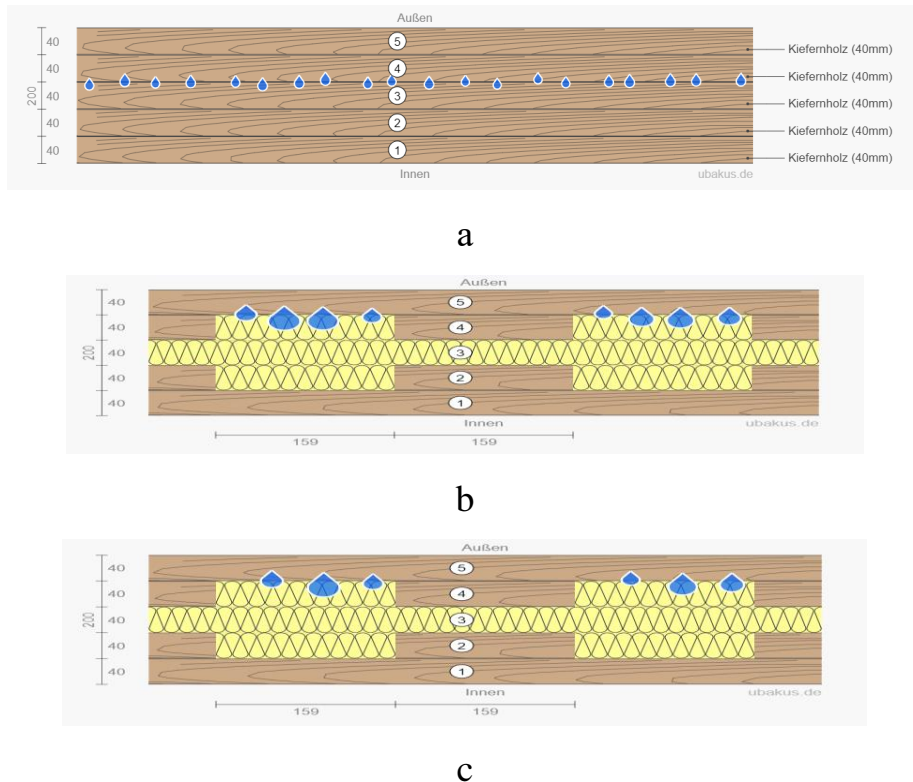


Рис. 3.7. Загальний вигляд стінових елементів товщиною 200 мм

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням струшкою; с – панель з наповненням соломною.

Таблиця 3.3.

Результати дослідження для стінового елемента $t=200$ мм

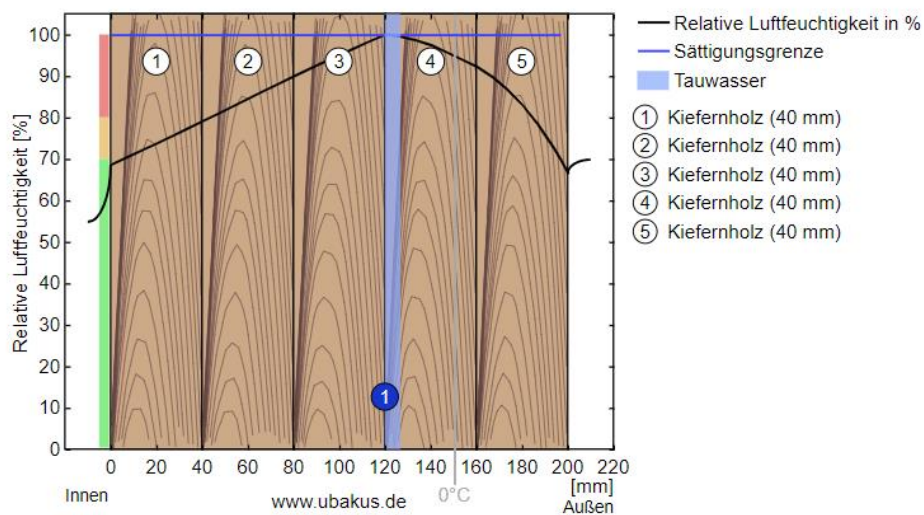
| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі $t = 200$ мм | Стіновий елемент з CLT-панелі $t = 200$ мм, з наповненням струшкою | Стіновий елемент з CLT-панелі $t = 200$ мм, з наповненням соломною |
|----------------------|------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,585 | 0,485 | 0,435 |

| | | | | |
|--------------------------|-------------------|------|------|------|
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0,13 | 0,71 | 0,75 |
| Holzfeuchte ³ | % | +0,6 | +3,4 | +3,6 |

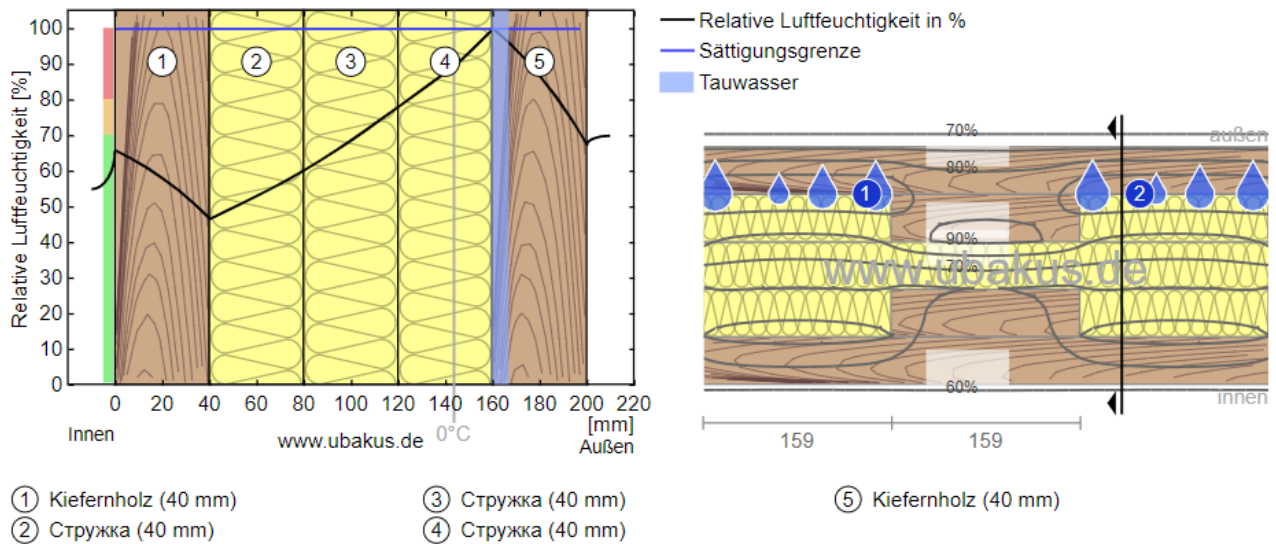
Продовження таблиці 3.3.

| | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|------|------|------|
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | 23 | 75 | 79 |
| sd-Wert ⁵ | м | 6,4 | 3,9 | 3,9 |
| Oberfläche innen ⁶ | °C | 16,4 | 16,9 | 17,1 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 394 | 152 | 108 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 10,5 | 9,5 | 10,7 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 12 | 11 | 11 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 76 | 51 | 53 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 46 | 38 | 34 |

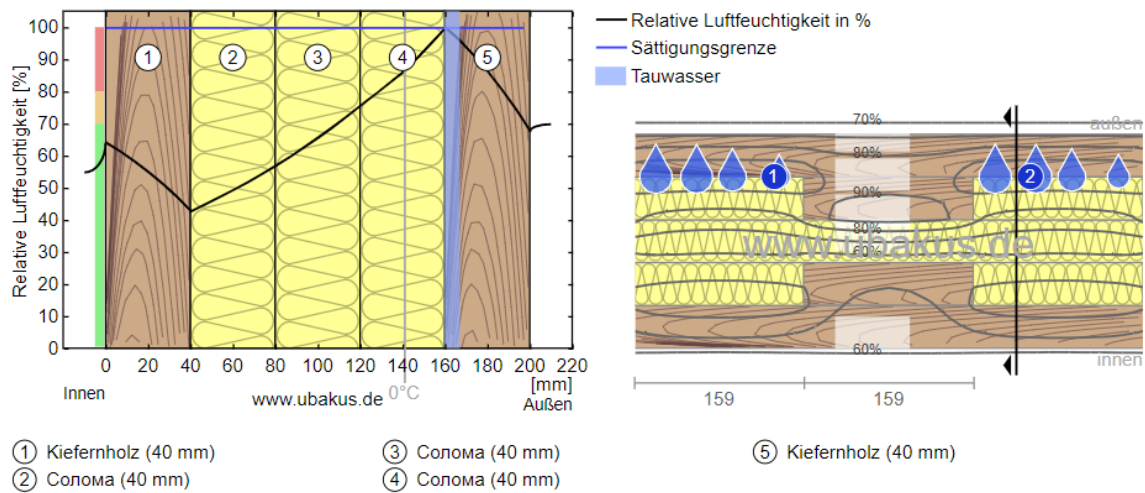
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.8.



а



b



c

Рис. 3.8. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою; с – панель з наповненням соломною.

Для рис. 3.8а:

1. Кількість роси: $0,13 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари 3 та 4.

Ця кількість висихає протягом 23 днів влітку

Для рис. 3.8 б:

1. Кількість роси: $0,38 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, Стружка, сосна

2. Кількість роси: $0,33 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, Стружка

Ця кількість випарується протягом 75 днів влітку

Для рис. 3.8 с:

1. Кількість конденсаційної води: $0,4 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, солома
2. Кількість конденсаційної води: $0,35 \text{ кг/м}^2$; Уражені шари: сосна, солома

Ця кількість випарується протягом 79 днів влітку

Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.9.

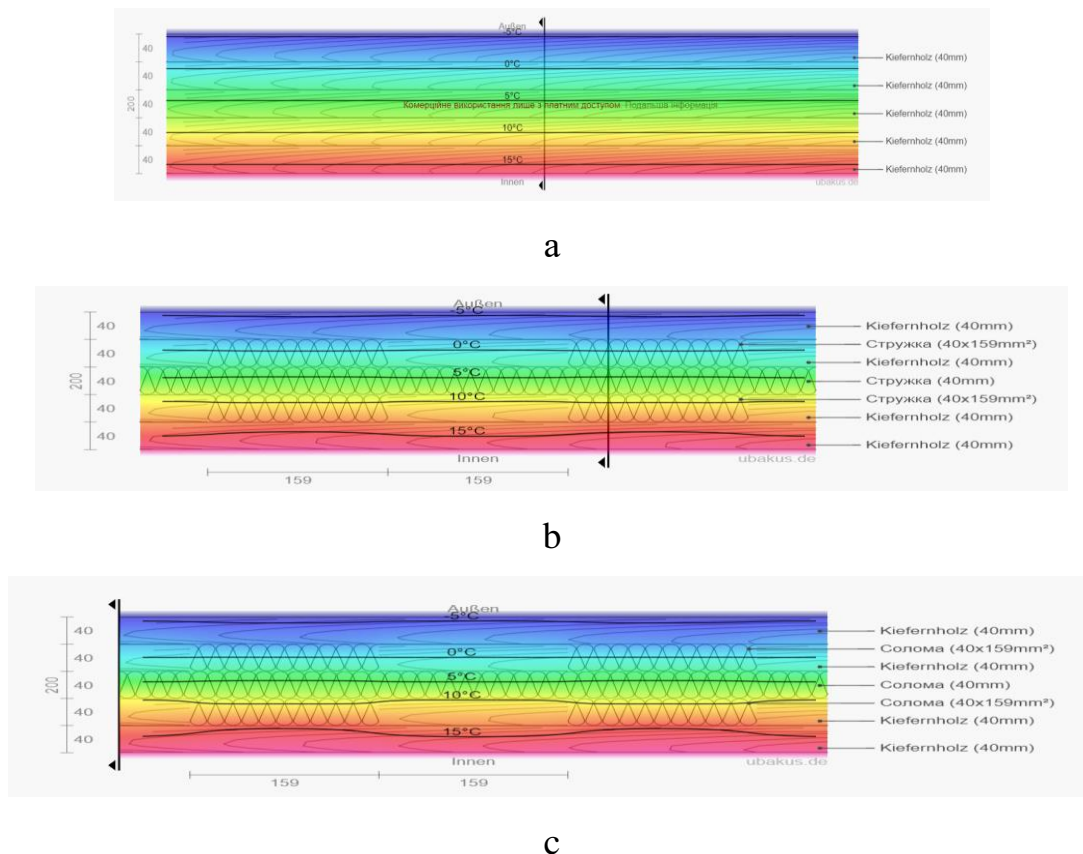


Рис. 3.9. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

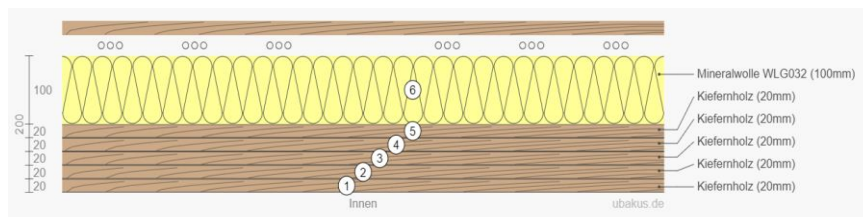
де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломною.

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що всі три типи стінових елементів товщиною 200 мм можна використовувати для зовнішніх стін. Розглянувши суцільну панель бачимо, що кількість утвореного конденсату становить $0,13 \text{ кг/м}^2$ та випаровується за 23 дні (знаходиться в межах норм), але при цьому теплопроникність є найбільшою, $0,585 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В той час як панелі зі

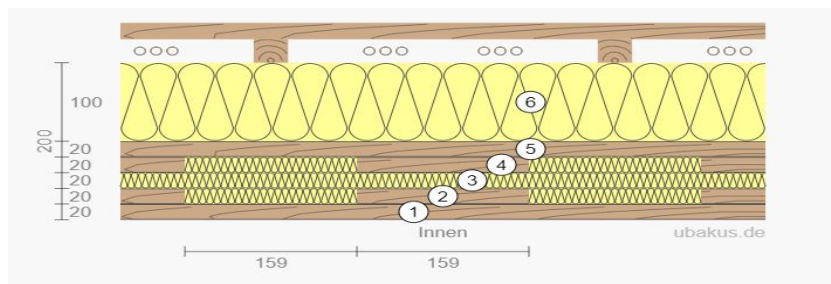
стружкою та соломою мають менші показники теплопроникності, але конденсату в них утворюється більше (зволоження шарів панелі – 3,4% та 3,6% відповідно). Також бачимо, що фазовий зсув становить: для суцільної панелі 12 год, для панелей з наповнювачем стружкою/соломою – 11 год, що є досить добре. При цьому вологість внутрішньої стіни є меншою за 70 %, що виключає ризик зараження грибами.

3.4. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 100 мм та вентиляльованим фасадом

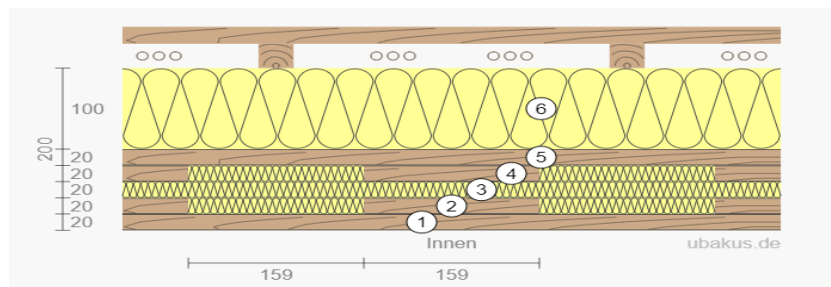
Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі товщиною 100 мм та вентиляльованим фасадом, з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.10, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.4



а



b



с

Рис. 3.10. Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі та вентиляльованим фасадом товщиною 100 мм

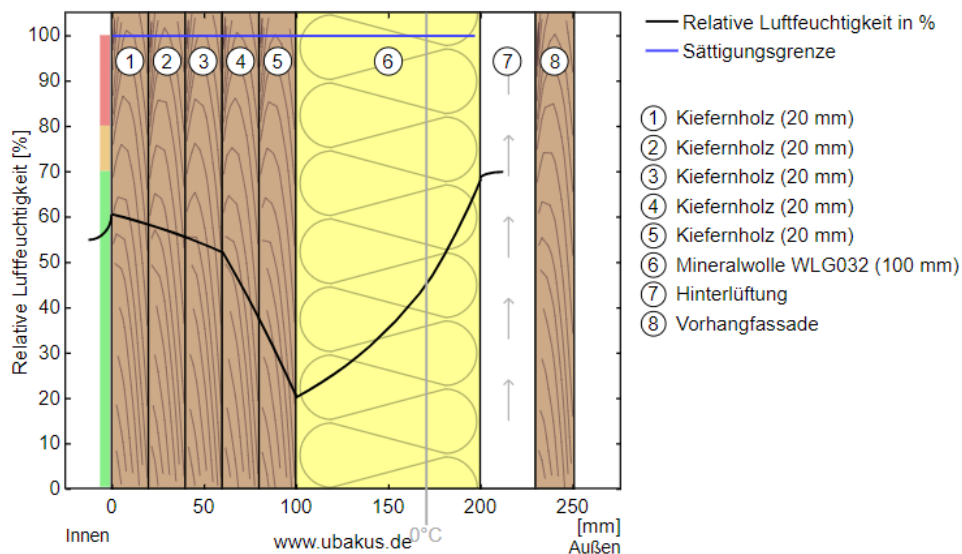
де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломкою та вентиляльованим фасадом.

Таблиця 3.4.

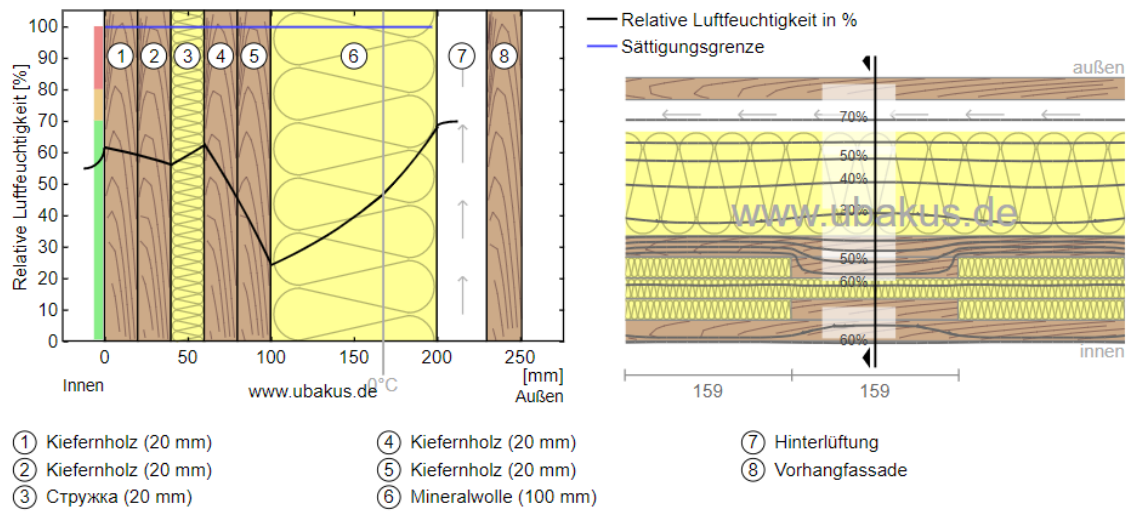
Результати дослідження для стінового елемента t=100 мм з вентиляльованим фасадом

| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням соломною |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,241 | 0,270 | 0,224 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0 | 0 | 0 |
| Holzfeuchte ³ | % | +0 | +0 | +0 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | - | - | - |
| sd-Wert ⁵ | м | 3,4 | 2,2 | 2,2 |
| Oberfläche innen ⁶ | °С | 18,4 | 18,2 | 18,4 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 933 | 1484 | 1484 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 22,4 | 15,9 | 20,4 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 8,5 | 8,5 | 8,8 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 72 | 46 | 47 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 19 | 21 | 17 |

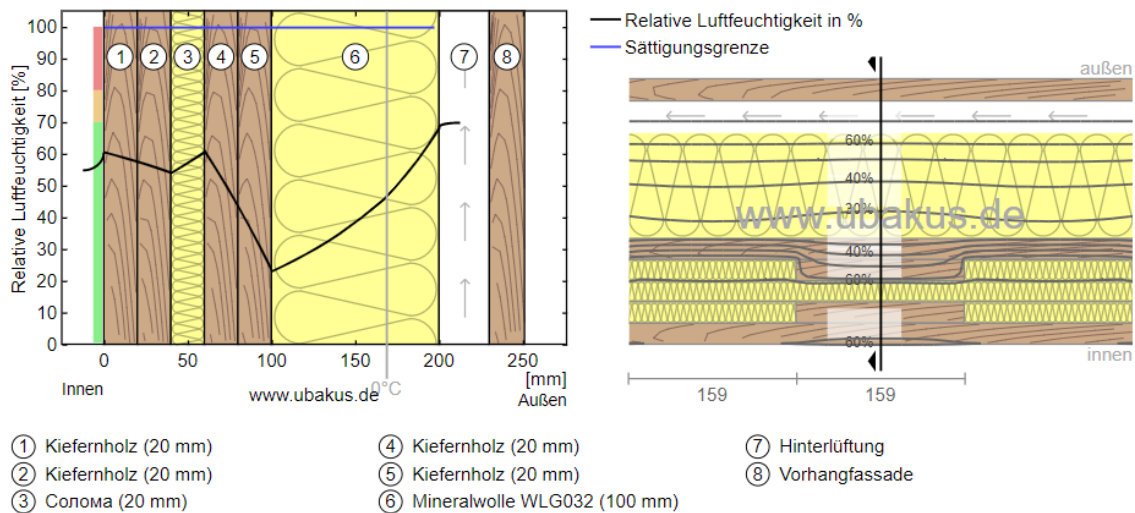
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.11.



a



b

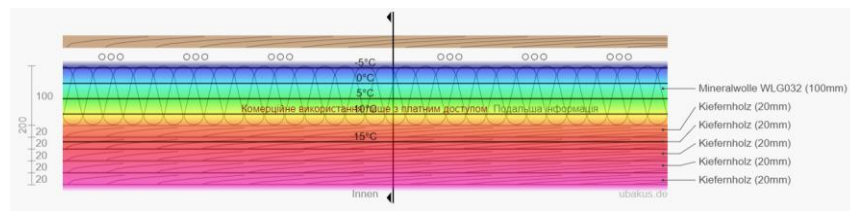


c

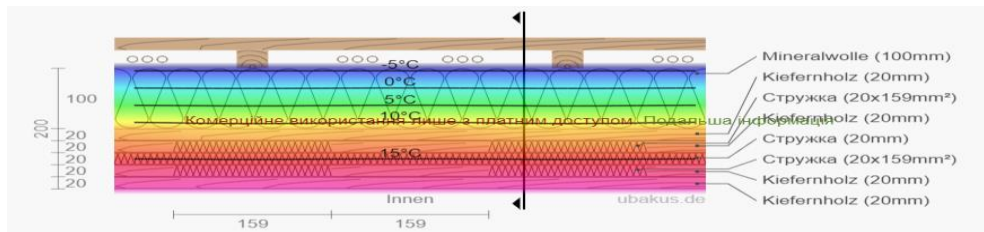
Рис. 3.11. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломкою та вентиляльованим фасадом.

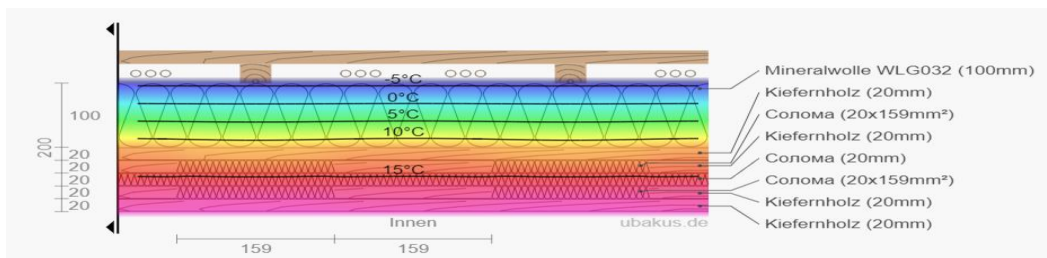
Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.12.



a



b



c

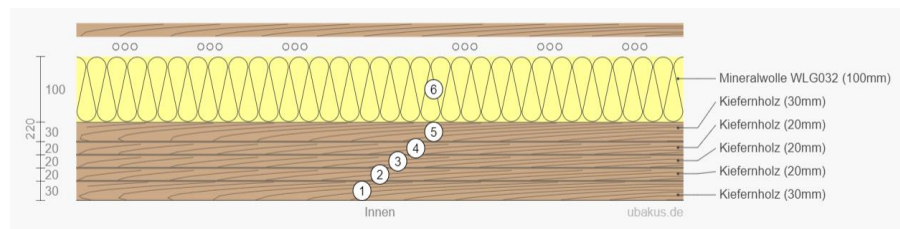
Рис. 3.12. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломкою та вентиляльованим фасадом.

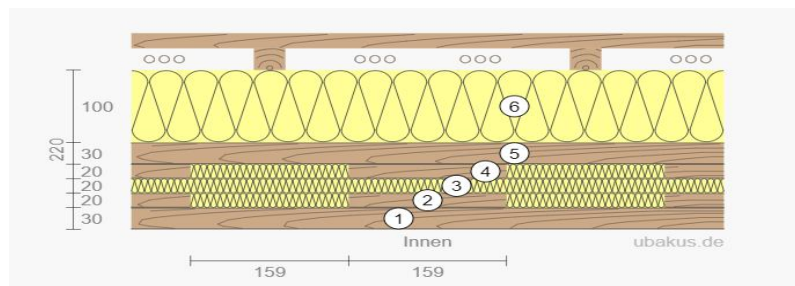
Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що використання вентиляльованого фасаду досить добре впливає на теплофізичні показники всіх стінових елементів. Оскільки, у всіх типах панелей ($t=100$ мм) конденсат не утворюється. Температура внутрішньої поверхні є більшою за 18 °С, а вологість меншою за 60% . При цьому втрати тепла становлять: суцільна панель – 19 кВт/год \cdot м², панель з наповненням стружкою – 21 кВт/год \cdot м², панель з наповненням соломкою – 17 кВт/год \cdot м². Отже, найкращим варіантом для використання є панель з наповненням соломкою.

3.5. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 120 мм та вентиляльованим фасадом

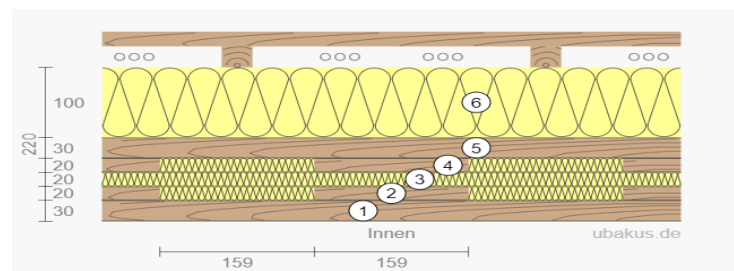
Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі товщиною 120 мм та вентиляльованим фасадом, з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.13, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.5.



а



b



c

Рис. 3.13. Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі та вентиляльованим фасадом товщиною 120 мм

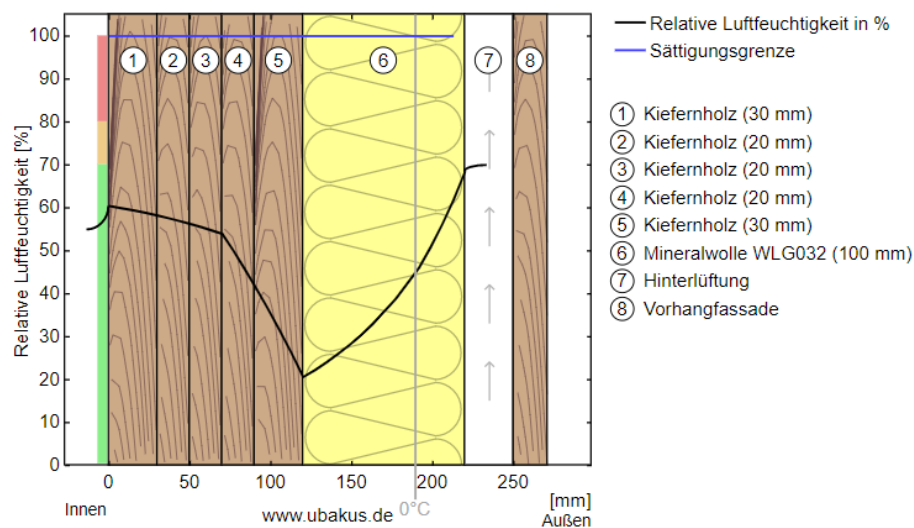
де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломною та вентиляльованим фасадом.

Таблиця 3.5.

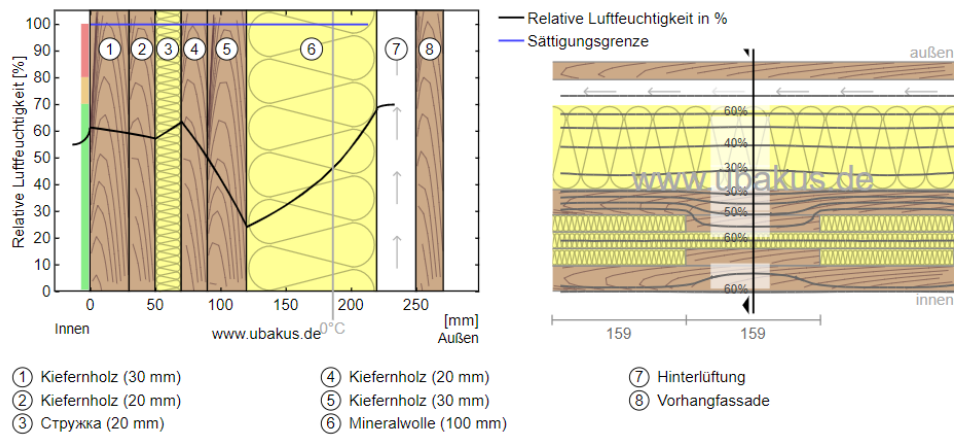
Результати дослідження для стінового елемента t-120 мм з вентиляльованим фасадом

| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 120 мм, з наповненням соломною |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,232 | 0,259 | 0,217 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0 | 0 | 0 |
| Holzfeuchte ³ | % | +0 | +0 | +0 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | - | - | - |
| sd-Wert ⁵ | м | 4,1 | 2,9 | 2,9 |
| Oberfläche innen ⁶ | °С | 18,5 | 18,3 | 18,5 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 766 | 1114 | 1114 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 29,8 | 22 | 28,6 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 9,8 | 9,7 | 10 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 85 | 58 | 60 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 18 | 20 | 17 |

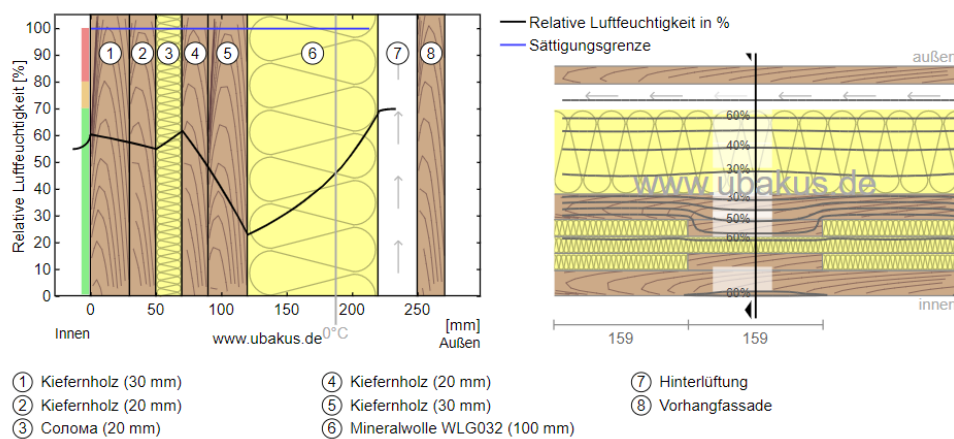
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.14.



а



b

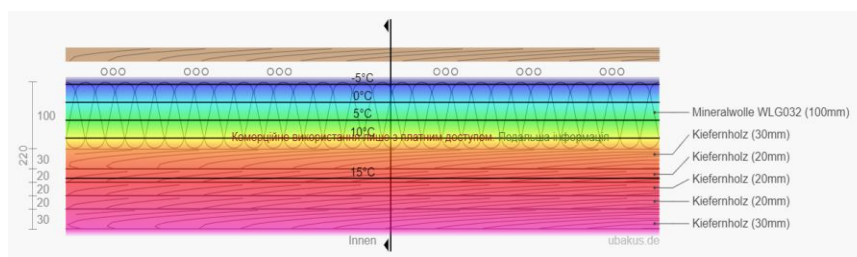


c

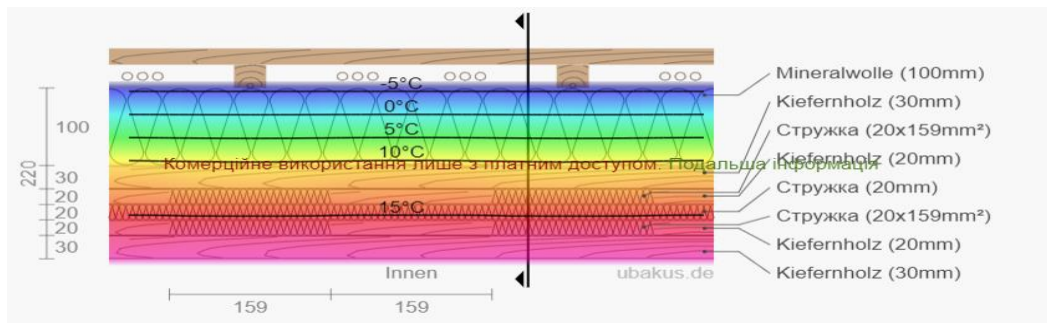
Рис. 3.14. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

де: а – суцільна панель з вентиляваним фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляваним фасадом; с – панель з наповненням соломою та вентиляваним фасадом.

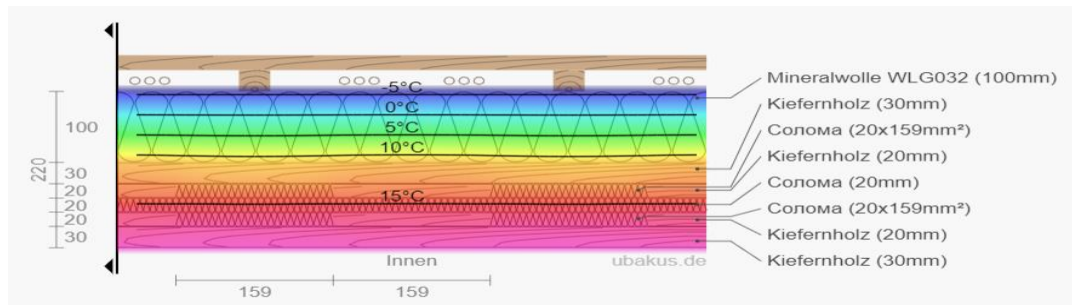
Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.15.



a



b



c

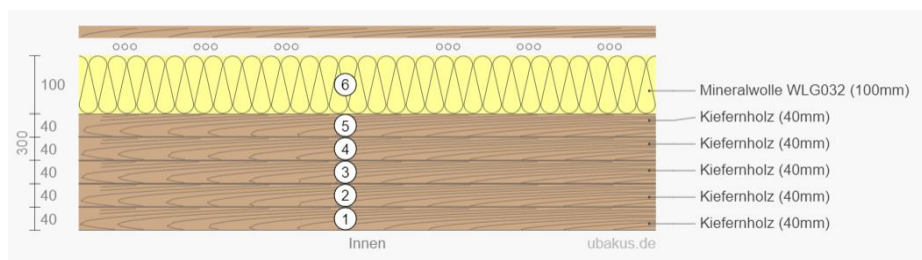
Рис. 3.15. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломною та вентиляльованим фасадом.

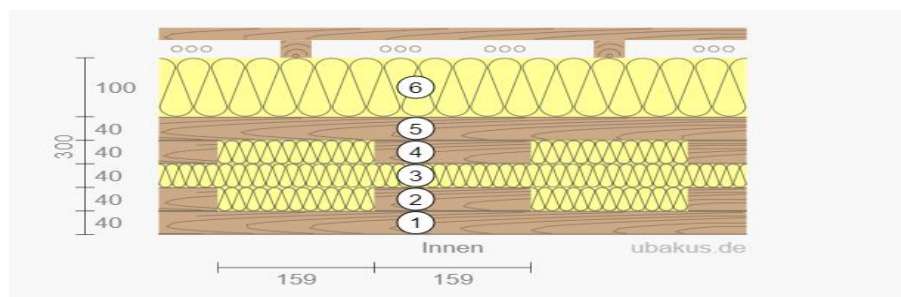
Висновок: аналогічно до попереднього випадку конденсат в середині стіни те утворюється. Але збільшення товщини панелі на 20 мм призвело до несуттєвого зменшення показників теплопроникності та втрати тепла. Також з таблиці 3.5 бачимо, що доцільніше використовувати панелі товщиною 120 мм з наповнювачами, зокрема з соломною ніж суцільну.

3.6. Результати дослідження стінових елементів з CLT-панелей товщиною 200 мм та вентиляльованим фасадом

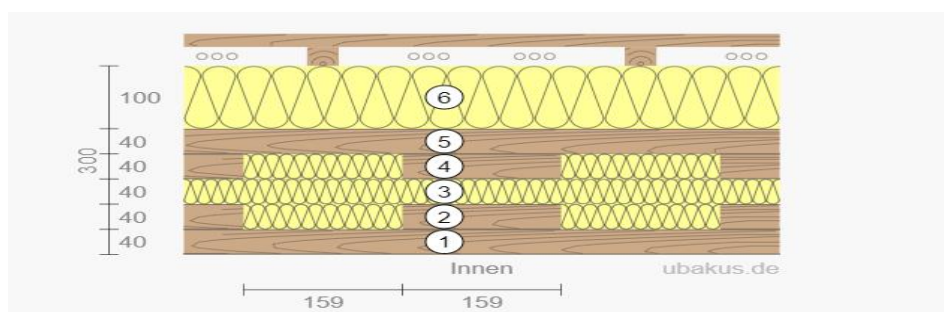
Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі товщиною 200 мм та вентиляльованим фасадом, з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.16, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.6.



а



б



с

Рис. 3.16. Загальний вигляд стінового елемента з CLT-панелі та вентиляльованим фасадом товщиною 200 мм

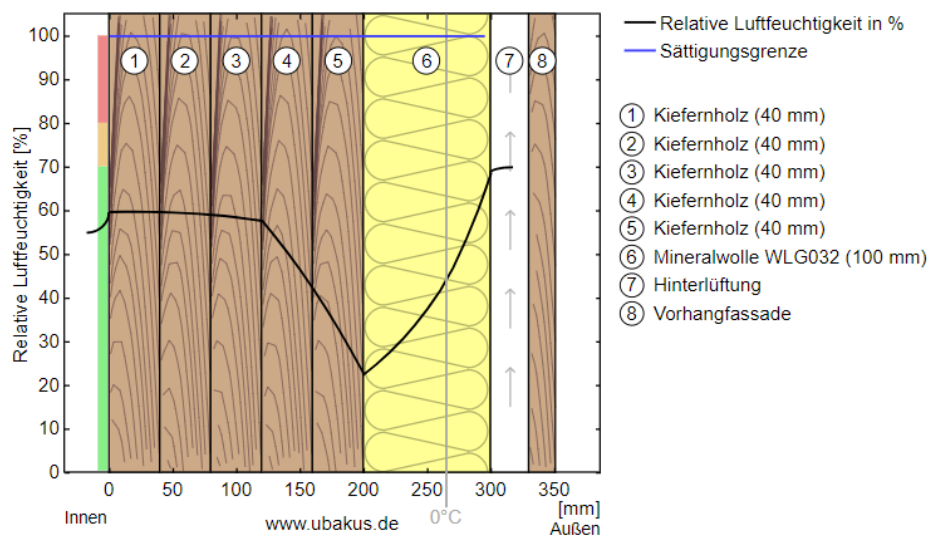
де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломкою та вентиляльованим фасадом.

Таблиця 3.6.

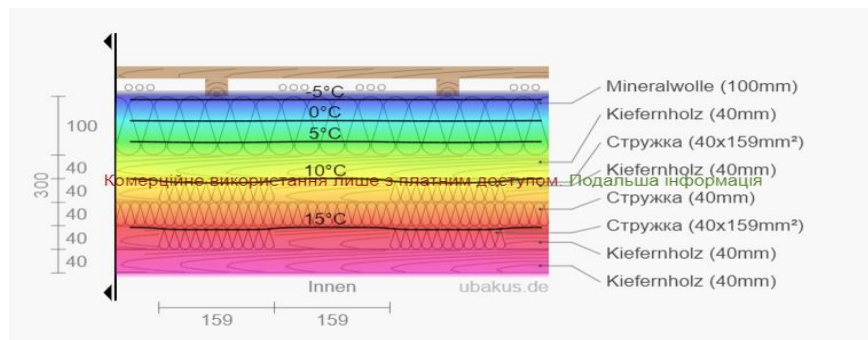
Результати дослідження для стінового елемента t-200 мм з вентиляльованим фасадом

| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 200 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 200 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 200 мм, з наповненням солом'ю |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--|---|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,203 | 0,215 | 0,181 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0 | 0 | 0 |
| Holzfeuchte ³ | % | +0 | +0 | +0 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | - | - | - |
| sd-Wert ⁵ | м | 6,6 | 4,1 | 4,1 |
| Oberfläche innen ⁶ | °С | 18,7 | 18,6 | 18,7 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 477 | 805 | 805 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 100 | 78,7 | 100 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 15 | 14 | 14 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 134 | 84 | 87 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 16 | 17 | 14 |

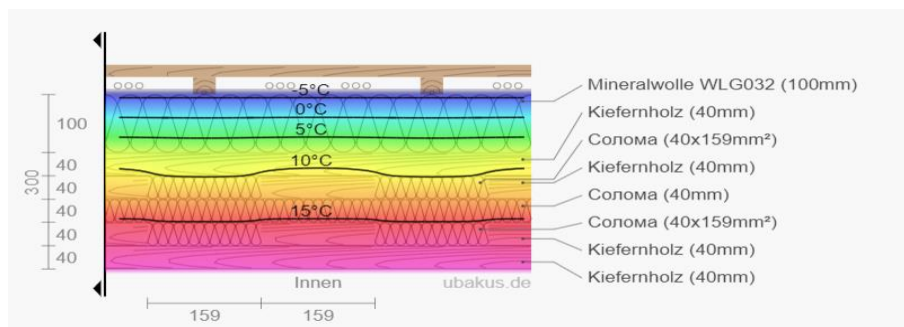
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.17



a



b



c

Рис. 3.18. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель з вентиляльованим фасадом; б – панель з наповненням стружкою та вентиляльованим фасадом; с – панель з наповненням соломкою та вентиляльованим фасадом.

Проаналізувавши отримані результати бачимо, що використання панелі товщиною 200 мм дало можливість значно зменшити показник теплопроникності та витрати тепла. В цьому випадку всі типи панелей (за всіма параметрами) можна використовувати для зведення зовнішніх стін. Але єдиним недоліком таких стінових елементів, у порівнянні з вищенаведеними 100 мм та 120 мм, є ціна.

3.7. Дослідження стінового елемента з CLT-панелей як міжкімнатної перегородки

Для дослідження візьмемо CLT-панелі товщиною 100 мм наступних видів: суцільну, з наповненням стружкою та з наповненням соломою. Параметри температури та вологості для першої кімнати приймаємо 20 °С та 55% відповідно. Для другої кімнати приймаємо температуру 10 °С, а вологість аналогічну до першого випадку 55 %.

Загальний вигляд стінових елементів товщиною 100 мм з відносним розташуванням точки роси наведено на рис. 3.19, а отримані результати дослідження зведено до табл. 3.7

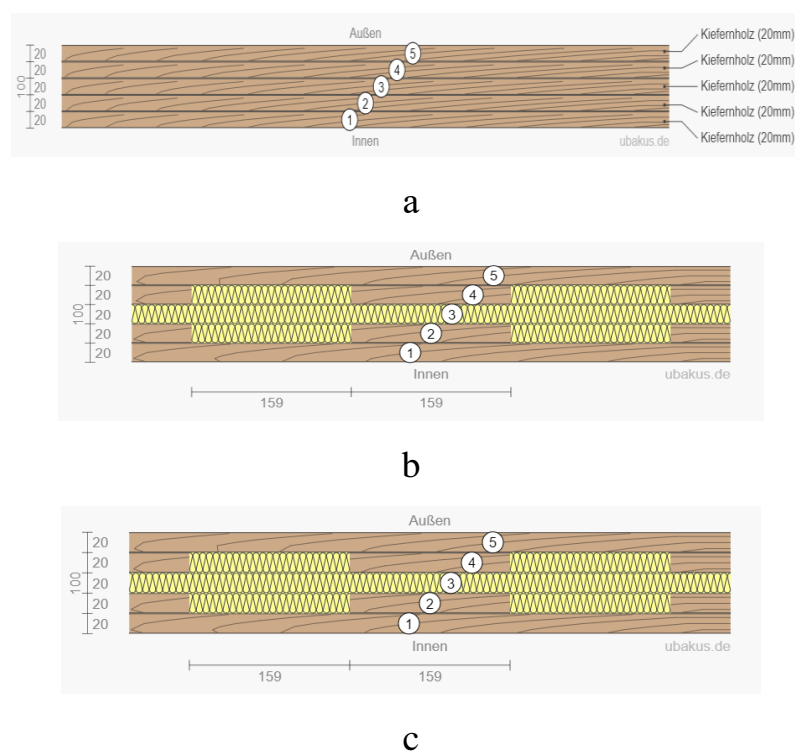


Рис. 3.19. Загальний вигляд стінових елементів товщиною 100 мм

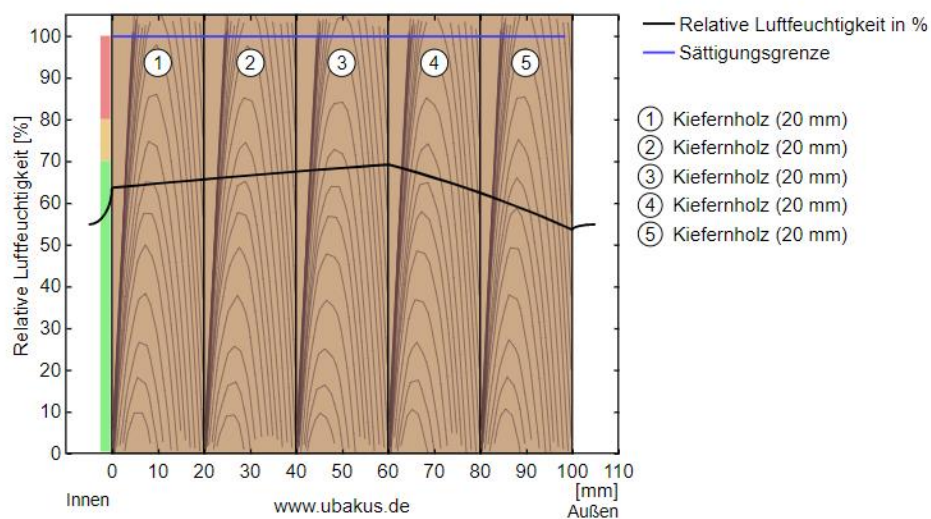
де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою; с – панель з наповненням соломою.

Таблиця 3.7.

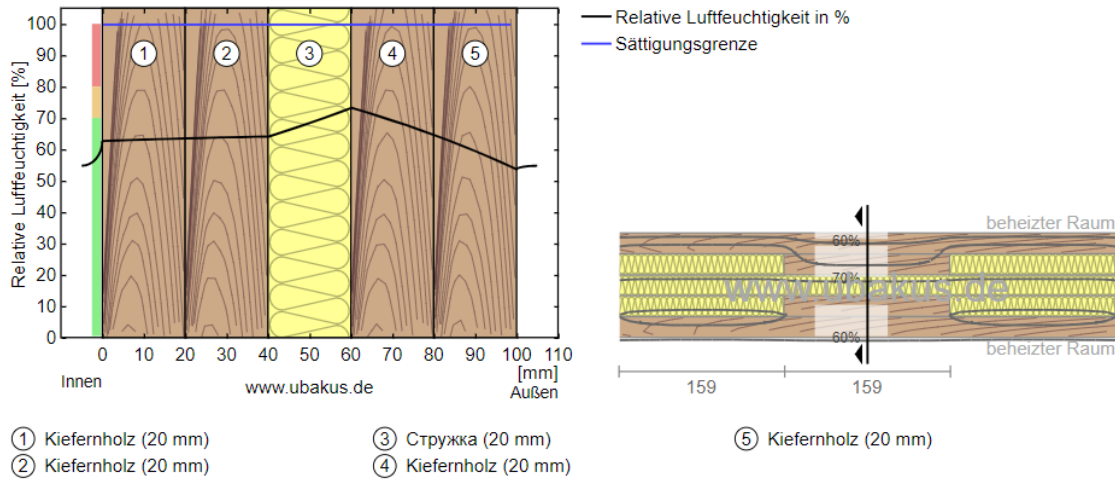
Результати дослідження для стінового елемента t-100 мм

| Назва характеристики | Одиниці вимірювання | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням стружкою | Стіновий елемент з CLT-панелі t = 100 мм, з наповненням соломною |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--|--|
| U-wert ¹ | Вт/(м ² ·К) | 0,972 | 0,829 | 0,809 |
| Tauwasser ² | кг/м ² | 0 | 0 | 0 |
| Holzfeuchte ³ | % | +0 | +0 | +0 |
| Trocknungsdauer ⁴ | дні | - | - | - |
| sd-Wert ⁵ | м | 3,2 | 2 | 2 |
| Oberfläche innen ⁶ | °С | 17,6 | 17,9 | 18 |
| Trocknungsreserve ⁷ | г/м ² ·а | 982 | 1645 | 1645 |
| Temp.Ampl.Dämpfung ⁸ | - | 2,2 | 2,1 | 2,3 |
| Phasenverschiebung ⁹ | год | 5,7 | 5,5 | 5,8 |
| Speicherfähigkeit innen ¹⁰ | кДж/м ² ·К | 34 | 24 | 24 |
| Wärmeverlust ¹¹ | кВт/год · м ² | 76 | 64 | 62 |

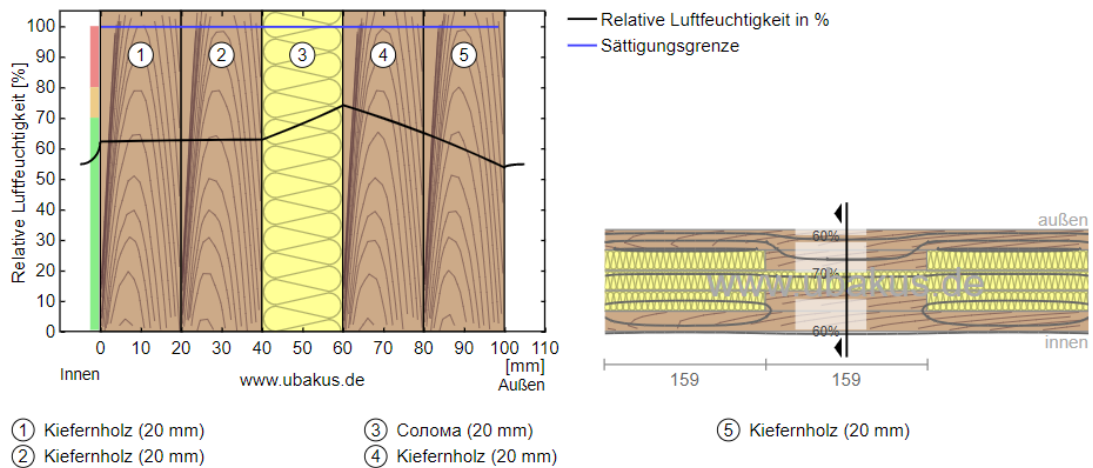
Можливе розташування точки роси в середині досліджуваних стінових елементів наведено на рис. 3.20.



а



b



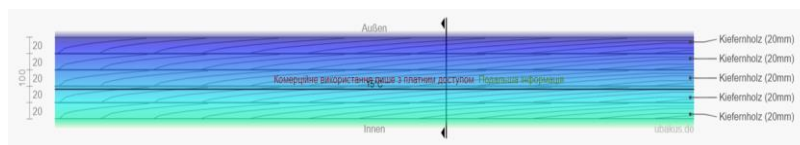
c

Рис. 3.20. Можливе розташування точки роси в середині стінових елементів

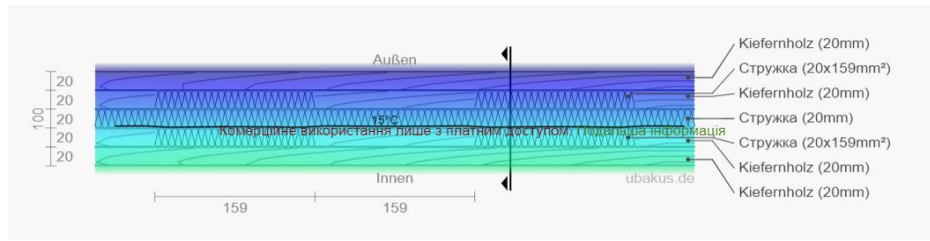
де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою; с – панель з наповненням соломкою.

Розподіл температури за товщиною досліджуваних стінових наведено на рис.

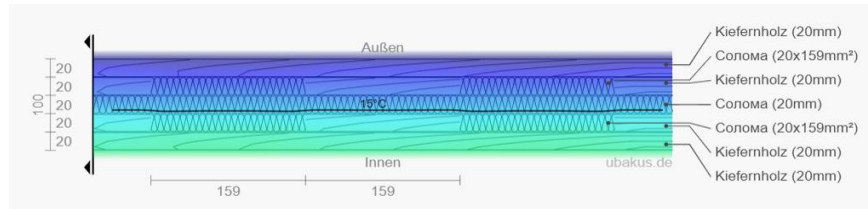
3.21.



a



b



c

Рис. 3.21. Розподіл температури за товщиною стінових елементів

де: а – суцільна панель; б – панель з наповненням стружкою ; с – панель з наповненням соломкою.

Висновок: якщо використовувати панелі товщиною 100 мм в якості перегородок то конденсат в них утворюватися не буде, оскільки немає значного перепаду температур. Але з таблиці 3.7 бачимо, що теплопроникиність та витрати тепла є дуже високі. В даному випадку це може бути перевагою, оскільки, температура та вологість буде розподіляться рівномірно між кімнатами, створюючи однакові параметри мікроклімату в приміщенні. На перспективу можна дослідити шумоізоляцію стінових елементів товщиною 100 мм та 120 мм, які використано в якості міжкімнатних перегородок.

3.8. Орієнтовний розрахунок вартості сировини та матеріалів у виробництві CLT-панелей різних видів

Проведемо розрахунки вартості сировини та матеріалів для виробництва стінових елементів товщиною 100 мм. Результати розрахунків зведено в табл. 3.8 - табл. 3.12.

Таблиця 3.8.

Баланс деревинної сировини для суцільної CLT-панелі товщиною 100 мм

| Назва матеріалу | Об'єм матеріалу, м ³ |
|------------------------|---------------------------------|
| Заготовки: | |
| п/м хв. пор. 3550 мм | 4,35 |
| п/м хв. пор. 18100 мм | 2,98 |
| Деталі: | |
| мат. хв. пор. 3550 мм | 3,78 |
| мат. хв. пор. 18100 мм | 2,52 |
| Відходи: | |
| Всього | 1,228 |
| Обрізки | 0,226 |
| Тирса | 0,128 |
| Стружка | 0,878 |

Таблиця 3.9.

Розрахунок вартості сировини та матеріалів на виробництво суцільних CLT панелей товщиною 100 мм

| № з/п | Назва сировини, основних і допоміжних матеріалів | Одиниці вимірювання | Витрати | | Вартість | |
|--------------------------------------|--|---------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | | На 1 панель | На річну програму 1000 штук | Ціна за одиницю грн., коп. | Вартість тис.грн. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | п/м хв. пор. 3550 мм | м ³ | 4,35 | 4354 | 6500 | 28299,5 |
| 2 | п/м хв. пор. 18100 мм | м ³ | 2,98 | 2986 | 6500 | 19407 |
| 3 | PURBOND HB S109 | кг | 41,7 | 41700 | 318 | 13260 |
| Разом | | | | | | 60966,5 |
| Транспортно-заготівельні витрати 12% | | | | | | 7315,98 |
| Всього | | | | | | 68282,48 |
| Зворотні відходи | | | | | | |
| ділові м ³ | | | | | | |
| | - обрізки | | | 226,8 | 1000 | 226,8 |
| | - тирса | | | 122,85 | 500 | 61,4 |

| | | | |
|-----------|--------|-----|-------|
| - стружка | 878,83 | 450 | 395,5 |
| Всього | | | 683,7 |

Таблиця 3.10.

Баланс деревинної сировини для CLT-панелі з наповненням стружкою або соломною товщиною 100 мм

| Назва матеріалу | Об'єм матеріалу, м ³ |
|------------------------|---------------------------------|
| Заготовки: | |
| п/м хв. пор. 3550 мм | 3,69 |
| п/м хв. пор. 18100 мм | 1,57 |
| Деталі: | |
| мат. хв. пор. 3550 мм | 3,24 |
| мат. хв. пор. 18100 мм | 1,29 |
| Відходи: | |
| Всього | 0,861 |
| Обрізки | 0,158 |
| Тирса | 0,086 |
| Стружка | 0,616 |

Таблиця 3.11.

Розрахунок вартості сировини та матеріалів на виробництво CLT панелей з наповненням стружкою товщиною 100 мм

| № з/п | Назва сировини, основних і допоміжних матеріалів | Одиниці вимірювання | Витрати | | Вартість | |
|--------------------------------------|--|---------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | | На 1 панель | На річну програму 1000 штук | Ціна за одиницю грн., коп. | Вартість тис.грн. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | п/м хв. пор. 3550 мм | м ³ | 3,69 | 3690 | 6500 | 23984 |
| 2 | п/м хв. пор. 18100 мм | м ³ | 1,57 | 1577 | 6500 | 10250,5 |
| 3 | PURBOND HB S109 | кг | 41,7 | 41700 | 318 | 13260 |
| 4 | Стружка | м ³ | 0,534 | 534 | 450 | 240,4 |
| Разом | | | | | | 47734,9 |
| Транспортно-заготівельні витрати 12% | | | | | | 5728,1 |
| Всього | | | | | | 53463 |
| Зворотні відходи | | | | | | |
| ділові м ³ | | | | | | |
| | - обрізки | | | 158,7 | 1000 | 158,7 |
| | - тирса | | | 86,16 | 500 | 43 |
| | - стружка | | | 616,76 | 450 | 277,5 |
| Всього | | | | | | 479,2 |

Таблиця 3.12.

Розрахунок вартості сировини та матеріалів на виробництво CLT панелей з наповненням соломою товщиною 100 мм

| № з/п | Назва сировини, основних і допоміжних матеріалів | Одиниці вимірювання | Витрати | | Вартість | |
|--------------------------------------|--|---------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | | На 1 панель | На річну програму 1000 штук | Ціна за одиницю грн., коп. | Вартість тис.грн. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | п/м хв. пор. 3550 мм | м ³ | 3,69 | 3690 | 6500 | 23984 |
| 2 | п/м хв. пор. 18100 мм | м ³ | 1,57 | 1577 | 6500 | 10250,5 |
| 3 | PURBOND HB S109 | кг | 41,7 | 41700 | 318 | 13260 |
| 4 | Солома | м ³ | 0,534 | 534 | 240 | 128 |
| Разом | | | | | | 47622,5 |
| Транспортно-заготівельні витрати 12% | | | | | | 5714,7 |
| Всього | | | | | | 53337,2 |
| Зворотні відходи | | | | | | |
| ділові м ³ | | | | | | |
| | - обрізки | | | 158,7 | 1000 | 158,7 |
| | - тирса | | | 86,16 | 500 | 43 |
| | - стружка | | | 616,76 | 450 | 277,5 |
| Всього | | | | | | 479,2 |

3.9. Висновки до розділу

Отже, можна зробити висновок, що панелі товщиною 100 та 120 мм не підходять для використання їх як зовнішніх стін, за утворення великої кількості конденсату. Але такі стінові елементи добре підходять для внутрішніх перегородок. Стінові елементи товщиною 200 мм можна використовувати як зовнішні стіни, але за умови, що наповнювач буде швидко висихати. Оскільки, велика кількість конденсату призведе до загнивання наповнювачів, в результаті чого панель зруйнується. Використання вентилязованого фасаду дає можливість використовувати всі види панелей всіх товщин. При цьому конденсат в середині панелі не утворюється. Але при застосуванні панелей товщиною 100 мм та 120 мм потрібно враховувати параметри температури навколишнього середовища, за для того, щоб уникнути утворення конденсату.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У ході виконання роботи необхідно, на основі даних підприємства «REZULT HOUSE», яке безпосередньо виготовляє CLT-панелі, змоделювати визначені у пункті 2.2. варіанти зразків та провести дослідження, використовуючи відповідне програмне забезпечення.

Оскільки, дана магістерська робота основана на дослідженнях суто теоретичного характеру з використанням комп'ютерної техніки, то розглянемо питання щодо безпечного виконання роботи, гігієни праці, а також безпеки в надзвичайних ситуаціях.

4.1. Характеристика виробничого приміщення та дослідження параметрів мікроклімату

Робоче приміщення знаходиться на території цеху, де виготовляють CLT-панелі. Це окремо сформована кімната розміром 5×3 м (15 м²) в якій знаходиться три робочих місця з організаційною технікою, зокрема ПК, за допомогою яких відбувається управління деякими процесами виробництва.

У зимовий період року температура в приміщенні становить 20 °С, а вологість повітря 45-50 %. Оскільки, роботи виконуються сидячи та не потребують значного фізичного навантаження, то їх відносять до категорії – легка Іа згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [31]. Для даної категорії робіт, температура повітря в робочому приміщенні в холодний період року має знаходитись в межах від +22 °С до +24 °С, для забезпечення нормальної працездатності робітників. Вологість повітря в робочому приміщенні (в холодний період року), згідно державних санітарних норм, має становити 40 – 60 %, а швидкість руху повітря в приміщенні – 0,1 м/с. Виходячи з отриманих даних, швидкість руху повітря в приміщенні, яку забезпечує

припливно-витяжна вентиляція становить 0,11 м/с., отже, можна зробити висновок, що параметр швидкості руху повітря знаходиться в межах норми.

Бачимо, що температура в робочому приміщенні є нижчою за необхідну. Для збільшення температури можна замінити радіатор опалення на такий, що має більшу площу. Це дозволить ефективніше віддавати тепло та підвищити температуру в робочому приміщенні.

4.2. Запиленість робочого приміщення

Визначимо концентрацію пилу в повітрі, застосувавши ваговий метод. Для цього проведено три заміри. Маса фільтру до зняття проби становила 100 мг, провівши заміри отримано наступні результати: 100,55 мг, 100,89 мг, 100, 74 мг, перший, другий та третій заміри відповідно, які занесено до табл. 4.1.

Визначимо концентрацію пилу, провівши розрахунки за методикою, яка наведена в методичних вказівках [32].

Об'єм повітря протягнутого через фільтр визначено з графіка наведеного на рис.2.4 методичних вказівок [32] – $V = 0,48 \text{ м}^3$.

Визначимо об'єм повітря протягнутого через фільтр, приведений до нормальних умов, використовуючи формулу (2.3) [32]:

$$V_{\text{н.ум.}} = \frac{273 \cdot V \cdot P}{(273 + t') \cdot 101,3}, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

де: V – об'єм повітря, протягнутого через фільтр при температурі t' і атмосферному тиску P , м^3 ;

P – атмосферний тиск на місці відбирання проб повітря, кПа ;

t – температура повітря на місці відбирання проб повітря, $^{\circ}\text{C}$

$$V_{\text{н.ум.}} = \frac{273 \cdot 0,48 \cdot 101,3}{(273 + 20) \cdot 101,3} = 0,447 \text{ м}^3$$

Визначимо фактичну концентрацію пилу в повітрі робочої зони за допомогою формули (2.2) [32]:

$$C = \frac{m}{V_{н.ум.}}, \text{ мг/м}^3 \quad (4.2)$$

де: m – маса пилу (різниця між масами фільтрів після взяття проб повітря m_2 і до взяття проб m_1), мг;

$V_{н.ум.}$ – об'єм повітря протягнутого через фільтр, приведений до нормальних умов, тобто за такого об'єму, який воно займало б при температурі 0°C і атмосферному тиску $101,3$ кПа.

$$C = \frac{0,73}{0,447} = 1,63 \text{ мг/м}^3$$

Гранично допустима концентрація деревного пилу в повітрі – 6 мг/м^3 .

Результати розрахунків занесено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати дослідження концентрації пилу в повітрі

Вид пилу – деревний пил.

Місце взяття проби – робоче приміщення.

Температура повітря в приміщенні – 20°C .

Атмосферний тиск повітря – $101,3$ кПа.

| № досліду | Маса фільтру, мг | | Маса пилу, мг | Об'єм відібраного повітря, м ³ | | Концентрація пилу, мг/м ³ | | Перевищення концентрації пилу, мг/м ³ |
|------------|------------------|--------------------|---------------|---|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--|
| | до взяття проби | після взяття проби | | фактичний | приведений до нормальних умов | фактична | за нормою (ГДК) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 100 | 100,55 | 0,55 | 0,48 | 0,447 | 1,63 | 6 | немає |
| 2 | 100 | 100,89 | 0,89 | | | | | |
| 3 | 100 | 100,74 | 0,74 | | | | | |
| Сер. знач. | | | 0,73 | | | | | |

Фактична концентрація пилу в повітрі становить $1,63 \text{ мг/м}^3$ при допустимих 6 мг/м^3 , це свідчить про те, що продуктивності місцевої вентиляції вистачає для забезпечення належних умов праці.

4.3. Освітлення робочої зони

У робочому приміщенні використано, як природний, так і штучний тип освітлення. Природне світло потрапляє в приміщення через віконний отвір, який знаходиться на висоті 0,9 м від підлоги та має габаритні розміри: довжина – 2,5; ширина – 1,3 м. Штучне освітлення виконано за допомогою LED ламп у кількості 4 шт., потужністю 18 Вт та світловим потоком 1600 Лм.

Проведемо дослідження природного та штучного освітлення робочого місця, де проведено досліди, за методикою, яка наведена у методичних вказівках [32].

Згідно ДБН В.2.5-28:2018 [33] розряд зорової роботи – IV (середньої точності). Контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристика фону – світлий.

Відповідно до пункту 3.2.3. ДСанПІН 3.3.2.007-98 [34] освітленість робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк.

Результати, які отримано під час вимірювань занесено до таблиці 4,2 та таблиці 4.3.

Таблиця 4.2

Результати дослідження штучного освітлення в приміщенні

| Назва приміщення, тип електроламп, вид освітлення | Фактична освітленість, лк | | | | | Освітленість згідно ДСанПІН 3.3.2.007-98 |
|---|---------------------------|-----|-----|-----|------------------|--|
| | Кількість вимірювань | | | | Середнє значення | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Робоче приміщення, LED, загальне | 351 | 356 | 357 | 354 | 354,5 | 300 |
| | 365 | 370 | 371 | 368 | 368,5 | |
| | 359 | 364 | 362 | 364 | 362,25 | |
| | 374 | 370 | 375 | 372 | 372,75 | |
| Загальне середнє значення | | | | | 364,5 | |

Визначимо КПО, скориставшись формулою 5.1 методичних вказівок [32]:

$$e = \frac{E_{\text{вн.}}}{E_{\text{зовн.}}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

де: e – коефіцієнт природного освітлення, %;

$E_{\text{вн.}}$ – фактична освітленість, виміряна люксометром всередині приміщення, лк;

$E_{\text{зовн.}}$ – фактична освітленість, виміряна люксометром за межами приміщення – під відкритим небом, в тому місці, куди не потрапляють прямі сонячні промені, лк.

$$e = \frac{12,3}{709,08} \cdot 100 = 1,73 \%$$

Результати розрахунку занесено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати дослідження природного освітлення в приміщенні

| Назва приміщення | Освітленість всередині приміщення, $E_{\text{вн}}$, лк | | | | | Освітленість під відкритим небом, $E_{\text{зовн.}}$, лк | | | | | КПО, % | |
|-------------------|---|------|------|------|------------------|---|-----|-----|-----|------------------|---------------|------------|
| | к-ть вимірювань | | | | середнє значення | к-ть вимірювань | | | | середнє значення | розрахунковий | за нормою |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| Робоче приміщення | 12,1 | 11,9 | 12,2 | 12 | 12,1 | 710 | 708 | 712 | 706 | 709 | 1,73 | 1,5 - 4 |
| | 12,5 | 12,8 | 12,6 | 12,4 | 12,6 | 705 | 706 | 709 | 705 | 706,25 | | |
| | 12 | 12,4 | 12,3 | 12 | 12,2 | 709 | 715 | 712 | 712 | 712 | | |
| | заг.сер.знач. | | | | 12,3 | заг.сер.знач. | | | | 709,08 | | |

Після проведення розрахунків можна зробити висновок, що природне та штучне освітлення знаходяться в межах норм, для розряду зорової роботи – IV середньої точності.

4.4. Дослідження параметрів рівня шуму в робочому приміщенні.

У робочому приміщенні знаходяться три робочих місця, на яких встановлено комп'ютери. Дослідження параметрів рівня звуку проведено для кожного з робочих місць. Рівень звуку біля першого робочого місця склав 45 дБА; другого – 43 дБА; третього – 50 дБА. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [35] рівень звуку для роботи, яка пов'язана з творчою діяльністю, конструюванням та проектуванням, програмуванням та науковою діяльністю, має становити не більше 50 дБА.

Отже, можна зробити висновок, що для першого та другого робочого місця рівень звуку відповідає нормам, а для третього робочого місця знаходиться на межі з допустимим. Тому, для того, щоб привести рівень звуку до норми можна виконати наступні дії:

- визначити та усунути причину утворення шуму;

наклеїти тонкий шар шумоізоляції на внутрішні стінки системного блоку, де це можливо, залишаючи при цьому всі отвори вентиляції.

4.5. Технічні рішення з електробезпеки

Як вже вказано вище, у приміщенні встановлено три комп'ютери для роботи яких потрібно електропостачання. Тож для нормальної та безпечної роботи, як комп'ютерів так і працівників за ними, встановлено груповий щиток згідно НПАОП 40.1-1.32-01 [36] з вимикачами, які автоматично вимикаються при збільшенні напруги. Провідники, які з'єднують автоматичні вимикачі та штепсельні розетки мають три жили (фаза, нуль, заземлення) січенням 4 мм². Відповідно до таблиці 1.3.11 стандарту ПУЕ-2017 [37], допустимий тривалий струм, який можуть витримувати такі провідники за змінного струму у повітрі становить 36 А. Враховуючи те, що комп'ютери з'єднані паралельно, сила струму становить 15 А. Також до цієї мережі можуть підключати додатково електроприлади з силою струму не більше 10 А.

Провідники заземлення з'єднані з кожною штепсельною розеткою та проведені до електричного щита, від якого іншим провідником з'єднані з внутрішнім контуром заземлення. Опір розтікання струму визначено за допомогою приладу МС-08, він склав 2,4 Ом. Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 допустимий опір розтікання струму становить 4 Ом.

Отже, можна зробити висновок, що у разі виникнення короткого замикання, стрибка напруги чи будь якої іншої непередбачуваної ситуації, живлення буде відключено автоматично, або це можна зробити власноруч, вимкнувши автомати (якщо це дозволяє ситуація та безпечно для життя). При виникненні підвищення сили струму захисне заземлення зможе стабілізувати ситуацію, спрямувавши його в землю. Опір розтікання струму становить 2,4 Ом, що також відповідає вимогам. Також варто звернути увагу на те, що січення провідників відповідають стандарту НПАОП 40.1-1.32-01 [36].

4.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.6.1. Організаційно-технічні рішення щодо пожежної безпеки, які застосовані на підприємстві:

- розроблено правила та інструкції з пожежної безпеки;
- розроблено та затверджено план евакуації;
- проведення інструктажів та навчання персоналу;
- контроль за дотриманням встановленого протипожежного режиму працівниками;
- перевірка протипожежного стану приміщень після завершення роботи;
- підтримання у належному стані систем вентиляції, опалення, та електропостачання;
- встановлено автоматичну пожежну сигналізацію та систему пожежогасіння.

4.6.2. Заходи та засоби протипожежного захисту.

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 [38] дане робоче приміщення за пожежною та вибухопожежною небезпекою відноситься до категорії Д (знижено пожежонебезпечна). До цієї категорії належать: “Речовини і/або матеріали, які вказані для категорій приміщень А, Б і В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В.” [38]. Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 [36] клас за вибухопожежонебезпечкою становить *II-IIIa*. До цього класу відносять – простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Тож, враховуючи вищевказані параметри, за для попередження можливої пожежі, всі провідники містять ступінь захисту оболонок класу IP-44 (згідно таблиці 5.1 [36]) та прокладені у спеціальних ізолюючих коробах відповідно норм НПАОП 40.1-1.32-01. Також у робочому приміщенні встановлено вогнегасник типу ВВК-2 (для приміщень площею до 20 м² у яких розміщено оргтехніку), відповідно до розділу VI нормативного документу НАПБ Б.01.008-2018 [39].

4.7. Висновки до розділу

У розділі охорони праці проаналізовано робоче приміщення, у якому відбувається управління деякими процесами виробництва. Під час дослідження параметрів мікроклімату встановлено, що температура приміщення є нижчою на 2 °С за вказану у державних санітарних нормах, після чого запропоновано заходи вирішення даної проблеми. Провівши вимірювання та розрахунки параметрів запиленості та освітлення робочого приміщення, встановлено, що вони знаходяться в межах відповідних норм. Дослідження параметрів рівня звуку показали, що для третього робочого місця рівень звуку знаходиться на межі з допустимим, тому

запропоновано варіанти вирішення цього питання. При дослідженні параметрів захисного заземлення та засобів протипожежного захисту встановлено, що вони знаходяться в межах відповідних норм.

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі магістра за допомогою програмних продуктів Uwert та SolidWorks створено та досліджено стінові елементи, основою яких є CLT-панелі. Для дослідження створено панелі, які складаються тільки з деревини (порода - сосна), панелі з наповненням деревинною стружкою та панелі соломою злакових рослин. Досліджено поєднання всіх панелей з вентильованим фасадом. У цій роботі розглянуто матеріали, які можуть бути використані як наповнювач та обґрунтовано можливість використання як наповнювача саме деревинної стружки та соломи. Хоча ці види наповнювачів і мають свої недоліки та все ж використання їх можливе.

Досліджено вплив температурних показників на формування точки роси для різної товщини стінових елементів та виявлено, що не всі види стінових елементів можна використовувати для зовнішніх стін. CLT-панелі з наповнювачем (стружка/солома) можуть використовуватися як міжкімнатні (не несучі) перегородки, при цьому вартість їх буде дешевшою, а якість не гіршою, ніж суцільні CLT-панелі.

Наведено орієнтовний розрахунок вартості сировини та матеріалів у виробництві CLT-панелей.

Розглянуто питання охорони праці, безпечного виконання робіт, гігієни праці, а також безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Режим доступу: <https://energox.com.ua/energoaudyt/korysni-statti/yak-vyznachyty-vyitik-tepla-v-budynku/>
2. Режим доступу: <https://old.kyivcity.gov.ua/content/porady-z-teploberezhennya.html>
3. Режим доступу: <https://rezult.pro/ua/lumber/clt-cross-laminated-timber/>
4. Режим доступу: <https://profidom.com.ua/stati/shkola-remonta-stroitelstvo/33931-v-ukraine-rozavilas-novaya-tehnologiya-stroitelstva-domov-iz-clt-panelej>
5. Режим доступу: <https://sk-real.com/70-varieties-of-bulk-insulation-for-walls-and-ceilings>
6. Режим доступу: <https://budmat.lviv.ua/sypuchi-materialy/keramzyt/keramzit-nasipom-5-20/>
7. Режим доступу: <https://vermig.com.ua/vse-pro-vermykulit/vermykulit-shho-cze-vermykulit-dlya-roslyn-1512/>
8. Режим доступу: <https://infostroi.com.ua/korisni-poradi/shho-take-vermikulit-i-yak-yogo-vikoristovuvati-v-budivnitstvi/>
9. Режим доступу: <https://flagma.ua/uk/sukha-sosnova-struzhka-o13775986.html>
10. Режим доступу:
<http://ukrlit.org/slovnkyk/%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B0>
11. Режим доступу: <https://ua.all.biz/uk/soloma-kupyt-solomu-soloma-ukrayna-g1569402>
12. Режим доступу:
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6490/5347>
13. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9447557/page:3/>
14. Режим доступу: <https://opalennya.in.ua/mineralna-vata-nadiinyi-material-dlia-zvuko-i-teploizoliatsii/>

15. Режим доступу: <https://xn--e1aecbmcsce2a6c6fc.com.ua/blog-post/%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F-%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B0-%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%8D%D1%82%D0%BE/>
16. Режим доступу: <https://sanpol.ua/ua/library/uteplenie-i-zvukoizolyatsiya/ekstrudirovannyu-penopolistirol/>
17. Режим доступу: <https://proteplozahist.com/perevahy-ppu/>
18. Режим доступу: <https://xn--e1aecbmcsce2a6c6fc.com.ua/blog-post/%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5-%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B9-%D1%84%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B4/>
19. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7201795/page:5/>
20. Forest Products Laboratory. Wood handbook: Wood as an engineering material. Agric. Handb. 72. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture; rev. 1987. 466 p.
21. Режим доступу: https://lms.e-school.net.ua/asset-v1:UIED+Physics-8th-grade+2020+type@asset+block@8_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81._%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0._%D0%A3%D1%80%D0%BE%D0%BA_2.pdf
22. Режим доступу: https://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/71886/mod_resource/content/6/lekcija%204%20%28%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%201%20%D0%B2%202019%20%D1%80.%29.pdf
23. Режим доступу: <https://gool.com.ua/ua/a108178-koeffitsient-teploprovodnosti-populyarnyh.html>
24. Режим доступу: <https://www.hospodari.com/resources/147072>

25. Режим доступу: <http://poradu24.com/remontu/tochka-rosi-v-stini-rozrachunok-i-znachodzhennya.html>
26. Режим доступу: <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/index.php?>
27. „Dämmstoffe aus Holz und Holzreststoffen" 1. Teil vorhaben: „Entwicklung eines Schüttdämmstoffes" [MF-97/08].
28. STROHBAURICHTLINIE SBR-2019 Verden, 26.10.2019
29. ДБН В.2.6.-31:20XX ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ
30. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія
31. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
32. Соколовський І.А., Сомар Г.В., Сторожук В.М., Козар В.С. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Основи охорони праці” Частина 1. – Львів.: НЛТУ України, 2017. – 58 с
33. ДБН В.2.5-28:2018 ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ
34. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
35. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
36. НПАОП 40.1-1.32-01 Про затвердження «Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»
37. ПУЕ-2017 Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)
38. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою
39. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників

ДОДАТКИ