

Юрий Ниэминен и Микаэль Салонваара

Гигротермическая эффективность стен из ЛСТК



Гигротермическая эффективность стен из ЛСТК

Юрий Ниэминен, Микаэль Салонваара
Технология строительства ВТТ

/Логотип/

ЦЕНТР ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФИНЛЯНДИИ ЭСПОО 2000

ISBN 951–38–5772–7 (раннее издание в мягком переплете)

ISSN 1235–0605 (раннее издание в мягком переплете)

ISBN 951–38–5773–5 (Сайт: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455–0865 (Сайт: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Авторские права принадлежат Центру технических исследований Финляндии (ВТТ) 2000

ИЗДАТЕЛЬСТВО – ИЗДАТЕЛЬСТВО – ИЗДАТЕЛЬСТВО

Центр технических исследований (ВТТ), ул. Вуоримиехентие, 5, PL 2000, 02044 ВТТ
Внутренний тел. (09) 4561, факс (09) 456 4374

Центр технических исследований (ВТТ), ул. Бергсмансваген, 5, PB 2000, 02044 ВТТ
Внутренний тел. (09) 4561, факс (09) 456 4374

Центр технических исследований Финляндии (ВТТ), ул. Вуоримиехентие, 5, а/я 2000, FIN-02044
ВТТ, Финляндия
Внутренний телефон + 358 9 4561, факс + 358 9 456 4374

Технология строительства, строительная физика, строительные услуги и противопожарная техника
ВТТ,

ул. Лампёмиехенкуя, 3, PL 1804, 02044 ВТТ
Внутренний тел. (09) 4561, факс (09) 455 2408

Технология строительства, строительная физика, строительные услуги и противопожарная
техника ВТТ,

ул. Вермемансгранден, 3, PB 1804, 02044 ВТТ
Внутренний тел. (09) 4561, факс (09) 455 2408, (09) 456 4709

Технология строительства, строительная физика, строительные услуги и противопожарная техника
ВТТ,

ул. Лампёмиехенкуя, 3, а/я 1804, FIN-02044 ВТТ, Финляндия
Внутренний тел. + 358 9 4561, факс + 358 9 455 2408, + 358 9 456 4709

Технический редактор Леена Укскоски

Отамедиа Ои, Эспоо 2001

Юрий Ниэминен и Микаэль Салонваара Гигротермическая эффективность стен из ЛСТК. Эспоо 2000. Центр технических исследований Финляндии. Пресс-релизы – Сообщения – Аналитические записки ВТТ 2070. стр. 26.

Ключевые слова ограждающая конструкция, металлоконструкции, легкие стальные тонкостенные конструкции, испытания на коррозионную устойчивость, устойчивость к атмосферному воздействию, влага, конденсация на поверхности, климатические условия, теплопередача

Аннотация

Гигротермическую эффективность новой системы ограждающих конструкций из легких стальных тонкостенных конструкций проверяли с помощью трехмерного моделирования тепловых режимов, двухмерного моделирования комбинированной тепло-, воздухо- и влагопередачи, лабораторных испытаний в калиброванных и защищенных теплоизолированных камерах (ISO 8990), испытаний на устойчивость к атмосферным воздействиям полноразмерных конструкций, испытаний на коррозионную устойчивость и измерений в эксплуатационных условиях на экспериментальных зданиях в г. Юлъярви, Центральная Финляндия. Результаты исследований показывают, что современная стальная стеновая конструкция, основанная на перфорированных стальных профилях, удовлетворительно работает в холодном климате Финляндии. Перфорационные отверстия значительно уменьшают потери тепла вдоль внутренней перегородки профиля. Измерения в эксплуатационных условиях показывают, что конденсат в каркасе не образовывается. Измерения температуры и инфракрасные съемки в демонстрационных зданиях показывают, что температура поверхности достаточно высока, чтобы предотвратить конденсацию на поверхности или даже повышенную влажность на поверхности. Согласно расчетам в стальных каркасах в условиях финского климата не наблюдается вероятность возникновения серьезной коррозии. Однако климат оказывает значительное влияние на эффективность конструкций, поэтому конструкции должны быть спроектированы с учетом климатических условий.

Предисловие

Новые ограждающие конструкции из легких стальных тонкостенных конструкций разрабатывали и изучали в Финляндии на протяжении последних 10-15 лет. Основное внимание при проведении исследования уделялось высокоэффективным внешним стенам. Хорошие теплоизоляционные свойства, долговечность, минимальные риски возникновения коррозии и появление влаги – ключевые вопросы исследования.

В течение 1989-2000 годов был проведен ряд исследований. В этом отчете представлен обзор наиболее важных результатов этих исследований. Исследовательские работы финансировали Раутаруукки Оий, Оутокумпу Поларит Ои, Финская ассоциация стальных конструкций, Национальное технологическое агентство (Текес), Центр технических исследований ВТТ в рамках Программы исследования стали и Европейское объединение угля и стали (ЕОУС).

Содержание

Аннотация	3
Предисловие.....	4
1. Введение.....	7
2. Тепловая эффективность легких металлоконструкций	8
2.1 Тепловые мосты.....	8
2.2 Сравнение инструментов теплового анализа.....	12
2.3 Герметичность зданий из стали	14
2.4. Распределение температуры по стенам из ЛСТК.....	14
3. Долговечность легких стальных тонкостенных конструкций.....	17
3.1 Изменение уровня влажности в стенах из ЛСТК	17
3.2 Риски возникновения коррозии при контакте материалов с легкими стальными тонкостенными конструкциями	17
3.3. Гигротермическое моделирование.....	19
4. Выводы.....	23
Список литературы	25

1. Введение

Новые ограждающие конструкции из легких стальных тонкостенных конструкций разрабатывали и изучали в Финляндии на протяжении последних 10-15 лет. Основное внимание уделялось коммерческим и общественным зданиям, но также увеличилось использование металлоконструкций в жилых домах. Срок эксплуатации зданий и строительных элементов становится все более важной особенностью в маркетинге строительных изделий. Когда вводятся новые строительные системы, будет непременно подниматься вопрос о гидротермальной эффективности.

Цель исследования состояла в оценке гидротермальной эффективности и долговечности легких стальных тонкостенных конструкций, используемых в качестве внешней стены в различных типах зданий. Был проведен ряд исследований, чтобы показать реальные, проверенные и подтвержденные результаты в отношении эффективности конструкций:

- Разработка фасадных блоков из предварительно изготовленных легких стальных тонкостенных конструкций: Разработка и испытание на гигротермичность новых легких стальных тонкостенных конструкций /15/.
- Разработка трехмерных инструментов для определения теплопередачи в металлоконструкциях: числовой трехмерный инструмент для расчета распределения температуры и теплового потока в металлоконструкциях /10/.
- Проектный срок эксплуатации металлоконструкций: обследование зданий из стали на месте, долгосрочные испытания на коррозионную устойчивость /6/.
- Проект в рамках Программы исследования стали при поддержке ВТТ /16/ "Эффективность зданий из стали": разработка инструментов для гигротермических расчетов, измерительных приборов и методов.
- Проект Мега-5 Европейского объединения угля и стали (ЕОУС) "Применение стали в городской среде обитания": Энергосберегающий дом из стали для холодного климата: разработка, испытание и демонстрация новой системы стальных каркасов, концепция энергосберегающего жилого дома на основе конструкций из стальных каркасов /7, 11/.

Новая концепция стального строительства, основанная на перфорированных легких стальных профилях, была разработана и продемонстрирована в г. Юлъярви, Центральная Финляндия. Цель проекта Мега-5, финансируемого ЕОУС /7/, заключалась в обеспечении эффективности и пригодности дома из легких стальных тонкостенных конструкций для использования в холодном климате. Проект включал комплексные исследования структурной и гигротермической эффективности конструкций, а также исследования энергетической эффективности и воздействия на окружающую среду зданий из стали.

Оценку гигротермической эффективности ряда конструкций проводили с использованием расчетов трехмерного теплового потока и лабораторных измерений полноразмерных конструкций в калиброванной и защищенной теплоизолированной камере в соответствии со стандартом ISO 8990 и лабораторными испытаниями на устойчивость к атмосферным воздействиям. Кроме того, была исследована тепловая эффективность конструкций при мониторинге домов из стали в эксплуатационных условиях в г. Юлъярви (1996-2000 гг.). Мониторинг включал измерения температуры в ограждающих конструкциях из разных местоположений, инфракрасные съемки зданий, измерение естественной инфильтрации воздуха в зданиях для оценки герметичности зданий и мониторинга увлажнения каркасной конструкции.

В исследовательском проекте в рамках Программы исследования стали при поддержке ВТТ /16/ "Эффективность зданий из стали" проверяли точность различных методов измерения и компьютерные инструментальные средства расчета. Основное внимание при проведении исследования уделялось тепловым измерениям и расчетам.

2. Тепловая эффективность легких металлоконструкций

2.1 Тепловые мосты

Как и все материалы каркаса в теплоизолированной конструкции, тепловой мост является стальным элементом. Но, так как теплопроводность стали высокая, возможны сильные мостиковые эффекты. Эффект тепловых мостов уменьшают тремя способами:

- с помощью двойного каркаса
- с помощью внешней теплоизоляции
- с помощью перфорированных стальных профилей или стальных профилей с прорезями.

В качестве внешних стен офисных и общественных зданий использовали легкие стальные тонкостенные конструкции на основе двойного каркаса (горизонтальный и вертикальный каркас, рис. 1). Расстояние между каркасами в обоих направлениях составляет обычно 0,6 метра, а теплоизоляция устанавливается в полости между каркасами. Двойной каркас улучшает тепловое качество стены на 20-25 % по сравнению с теплоизолированной стеной на основе одинарного каркаса, табл. 1.

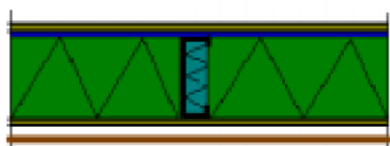
Внешняя теплоизоляция уменьшает тепловой мост в стене. Эффект зависит от тепловых свойств системы теплоизоляции. Внешняя теплоизоляция имеет ряд преимуществ с точки зрения поведения влаги, ввиду того, что температуры каркаса повышаются, что, в свою очередь, снижает риски появления влаги в каркасе.

Перфорированные внутренние перегородки в легких стальных тонкостенных конструкциях дают конструкции два преимущества. Благодаря перфорационным отверстиям, улучшаются тепловые свойства конструкции. Это, в свою очередь, дает возможность использовать конструкцию в качестве стены на основе одного каркаса. Легкая стальная тонкостенная конструкция с перфорированной внутренней перегородкой называется термопрофиль, см. рис. 2 и 3. U-образные термопрофили используют в сборных фасадных элементах для высотных зданий. Несущие стены отдельностоящих домов и домов строчной застройки состоят из вертикальных C-образных термопрофилей. Толщина материала профиля обычно составляет 1,0-1,5 мм.

Влияние отверстий или прорезей в термопрофиле можно принимать во внимание при введении понятия эквивалентная теплопроводность неперфорированного материала. Теплопередачу во внутренней перегородке можно считать чистой теплопроводностью. Эквивалентную теплопроводность можно определить путем

сравнения теплопроводности в перфорированном корпусе и в неперфорированном корпусе. Эквивалентная теплопроводность зависит от типа перфорации, включая форму и размеры перфорированных отверстий, размеров участков стали между перфорированными отверстиями и теплопроводности материала в отверстиях, см. рис. 4.

Уменьшенный тепловой мост оказывает значительное влияние на снижение теплопроводности в термопрофиле по сравнению с твердой сталью (рис. 5). Отверстия действуют как терморазрывы для стального элемента, уменьшая теплопроводность вдоль внутренней перегородки на 70-80 %, рис. 6. Согласно исследованиям, проведенным в Финляндии и Швеции [1, 8, 9], эквивалентная теплопроводность термопрофиля может составлять 5-10 Вт/м²•К.



- гипсокартонный лист 13 мм
- паронепроницаемый барьер из полимерной пленки 0,2 мм
- теплоизоляция 175 мм
- + вертикальный стальной каркас
- ветрозащитный барьер из гипсокартонного листа 9 мм
- вентиляционный зазор
- фасад



- гипсокартонный лист 13 мм
- паронепроницаемый барьер из полимерной пленки 0,2 мм
- теплоизоляция 175 мм
- + вертикальный стальной каркас
- + горизонтальный стальной каркас 50 мм
- ветрозащитный барьер из гипсокартонного листа 9 мм
- вентиляционный зазор
- фасад

Рисунок 1. В качестве внешней стены в Финляндии используют стены из одинарного и двойного каркасов.

Таблица 1. Относительное тепловое сопротивление теплоизолированной стальной каркасной стены по сравнению с линейным сопротивлением теплоизоляции соответствующей толщины. Все изоляционные материалы из минеральной ваты имеют теплопроводность 0,037 Вт/м•К.

Конструкция стен	Относительное тепловое сопротивление, %
Теплоизоляция из минеральной ваты 175 мм	100
Стена из одинарного каркаса (рис. 1) - вертикальный каркас С 175-50-1,2	45
Стена из двойного каркаса - вертикальный каркас С 125-50-1,2 - горизонтальный каркас Z 50-50-1,0	65
Стена из одинарного каркаса + внешняя теплоизоляция 125 + 50 мм - вертикальный каркас С 125-50-1,2	75
Стена из одинарного каркаса, термопрофили - вертикальный каркас С 175-50-1,2	80

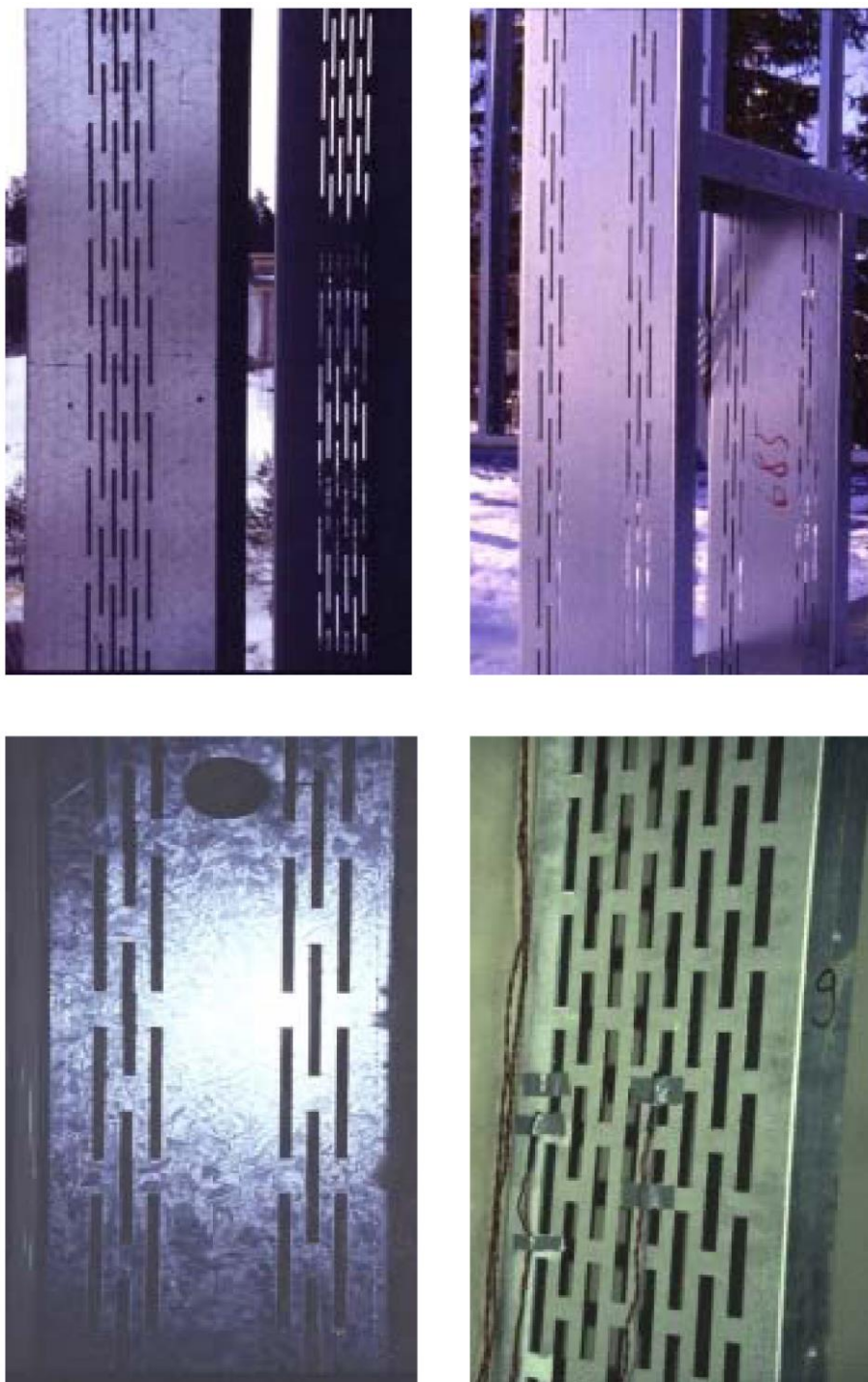


Рисунок 2. Аналоги термопрофилей Профили в верхнем ряду использовали в Вилле 2000, построенной для Выставки домов 2000 в г. Туусула (слева), и в стальных домах г. Юлъярви, построенных для Выставки домов 1996 в г. Юлъярви (справа). Два других образца были изготовлены исключительно для испытаний.

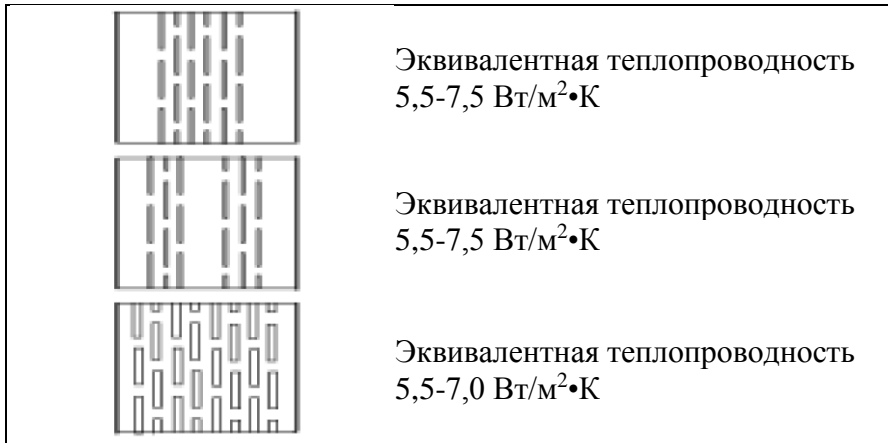


Рисунок 3. Перфорированные аналоги термопрофиля. При расчете эквивалентной теплопроводности во внимание берутся перфорированные отверстия, заполненные теплоизоляционным материалом. Эквивалентная теплопроводность зависит от свойств теплоизоляции, размеров перфорированных отверстий и размеров участков стали между перфорированными отверстиями.

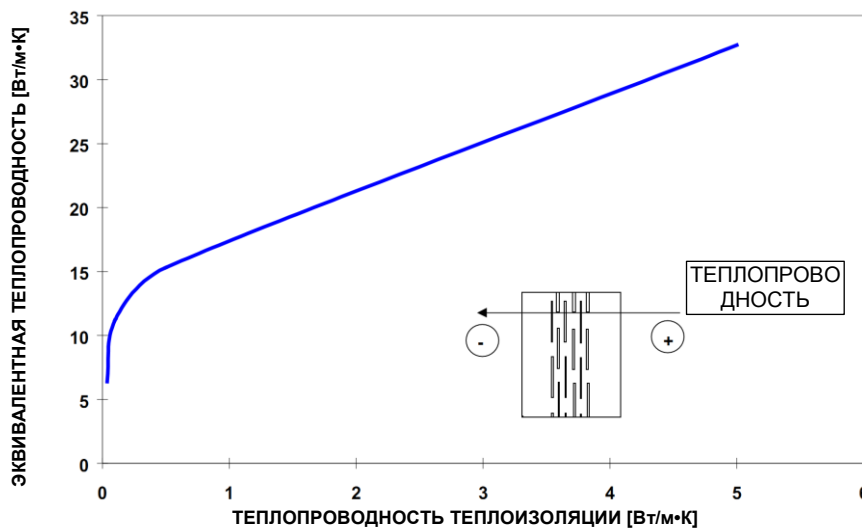


Рисунок 4. Влияние теплоизоляции на эквивалентную теплопроводность стандартного финского термопрофиля /12/.

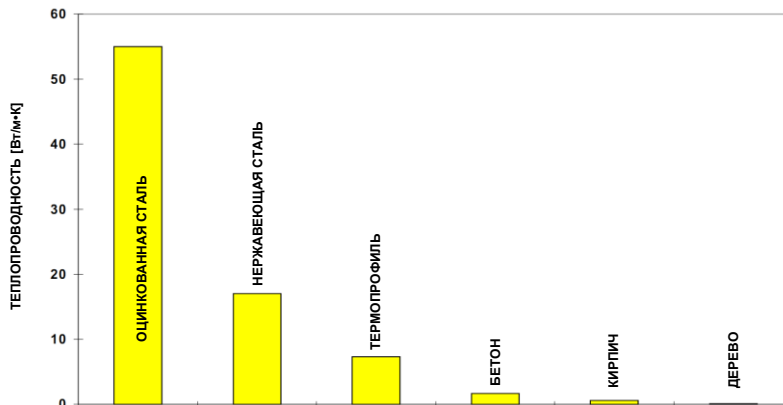


Рисунок 5. Теплопроводность различных строительных материалов, используемых в несущих конструкциях. Эквивалентная теплопроводность для термопрофиля.

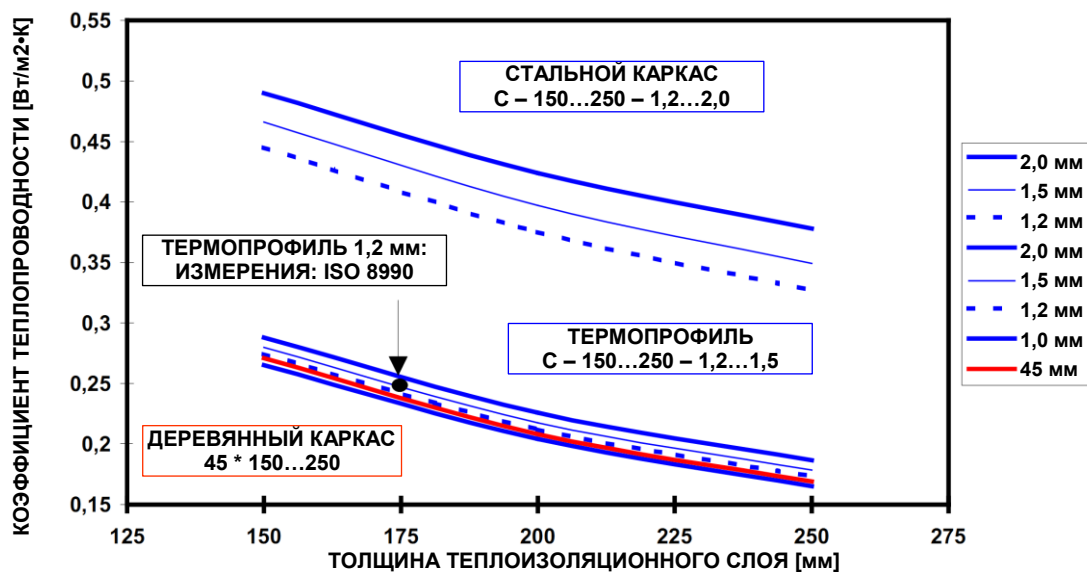


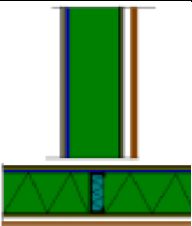
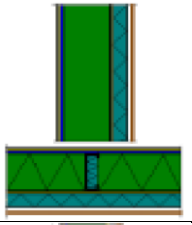
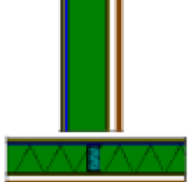
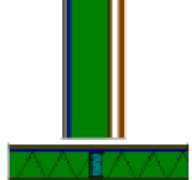
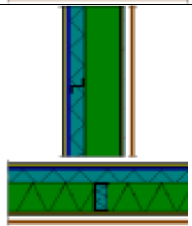
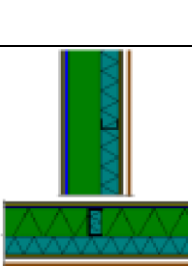
Рисунок 6. Расчетные значения коэффициента теплового пропускания для стен из стальных и деревянных каркасов [9]. Тепловое преимущество перфорации в стальном элементе однокаркасной конструкции составляет 40-50 % в зависимости от толщины теплоизоляции стены.

2.2 Сравнение инструментов теплового анализа

Металлоконструкции обычно представляют собой трехмерные конструкции. Тепловой анализ этих структур сложный, так как обычно требуются численные методы трехмерных расчетов. Однако анализ однокаркасных конструкций можно проводить с помощью двумерных расчетов даже в случае, когда внутренняя перегородка стального профиля имеет перфорацию, с использованием эквивалентной теплопроводности в качестве свойства материала для стального элемента.

Чтобы обеспечить точность расчетов по сравнению с измерениями, была проведена серия лабораторных испытаний в калиброванных и защищенных теплоизолированных камерах (ISO 8990, [3]). Кроме того, была проверена целесообразность применения метода теплового потока для измерения коэффициента теплового пропускания согласно стандарту DIN 52611/2/. Результаты показывают, что расчетные и измеренные (ISO 8990) результаты совпадают достаточно точно, табл. 2. Несмотря на то, что испытанию подверглись всего несколько конструкций, метод теплового потока согласно DIN 52611 демонстрирует слишком высокие значения по сравнению с другими методами анализа.

Таблица 2. Сравнение инструментов теплового анализа для оценки коэффициента теплового пропускания (коэффициент теплопроводности) стен из ЛСТК Измеренные значения в соответствии со стандартами ISO 8990 и DIN 52611 и результаты 2- и 3-мерного моделирования.

Тип стены	Слои конструкции изнутри	Коэффициент теплопроводности [Вт/м ² •К]
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Стальной каркас а) ТС 175-50-1,2 мм или б) С 175-50-1,2 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Ветрозащитный гипсокартонный лист 9 мм	а) ISO 8990: 0,263 Трехмерное моделирование: 0,257 Двухмерное моделирование: 0,257 ^{*)} б) Трехмерное моделирование: 0,435 Двухмерное моделирование: 0,435 ^{*)} эквивалентная теплопроводность 7,3 Вт/м•К
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Стальной каркас ТС 175-50-1,2 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Ветрозащитный гипсокартонный лист 9 мм Ветрозащитная жесткая минеральная вата 45 мм	ISO 8990: 0,188 Трехмерное моделирование: 0,190 Двухмерное моделирование: 0,190 ^{*)} ^{*)} эквивалентная теплопроводность 7,3 Вт/м•К
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Стальной каркас TU 150-50-1,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Ветрозащитный гипсокартонный лист 9 мм	ISO 8990: 0,300 Стандарт DIN 52611: 0,350 Трехмерное моделирование: 0,292 Двухмерное моделирование: 0,290 ^{*)} ^{*)} эквивалентная теплопроводность 5,5 Вт/м•К
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Каркас из нержавеющей стали U 150-50-1,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Ветрозащитный гипсокартонный лист 9 мм	ISO 8990: - Стандарт DIN 52611: 0,375 Трехмерное моделирование: 0,340 Двухмерное моделирование: 0,340
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Стальной каркас U 50-50-1,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Стальной каркас U 125-50-1,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты а) воздушный зазор + обновление фасадов зданий креплением новой облицовки б) без фасада	а) ISO 8990: 0,281 Трехмерное моделирование: 0,282 б) стандарт DIN 52611: 0,345 ^{*)} Трехмерное моделирование: 0,321 ^{*)}
	Гипсокартонный лист 13 мм паронепроницаемый барьер из полиэтиленовой пленки Стальной каркас U 150-50-2,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Стальной каркас TU 100-50-1,0 мм + теплоизоляция из минеральной ваты Ветрозащитный гипсокартонный лист 9 мм	ISO 8990: Стандарт DIN 52611: 0,225 Трехмерное моделирование: 0,214 Трехмерное моделирование: 0,210 ^{*)} ^{*)} эквивалентная теплопроводность 16 Вт/м•К

ТС = С-образный перфорированный стальной профиль (термопрофиль)

TU = U-образный перфорированный стальной профиль, U = U-образный стальной профиль

2.3 Герметичность зданий из стали

Герметичность зданий из стали была проверена только в 4 случаях. Таблица 3 содержит результаты измерений и справочную информацию по стандартным финским зданиям.

Таблица 3. Герметичность домов из стали и стандартных финских зданий.

Тип здания	Скорость утечки воздуха при 50 Па, кратность воздухообмена в час
Дома из стали из готовых элементов заводского изготовления (дома строчной застройки)	1,9–2,5
Дом из стали, возведенный на участке (дом строчной застройки)	3
Отдельно стоящие деревянные дома, возведенные на участке	3-4
Отдельно стоящие деревянные дома из готовых элементов заводского изготовления	2-4
из готовых элементов заводского изготовления	3-5
Массивные деревянные дома (бревенчатые дома)	7-15
Бетонные здания	1-4
Энергосберегающие отдельно стоящие дома	0,8-2

Места утечки воздуха в домах из стали определяют с помощью инфракрасной камеры. Недостаточная герметизация электрических и вентиляционных установок, проходящих через воздушный/паронепроницаемый барьер ограждающей конструкции, стала причиной большей части утечек воздуха. Такие дефекты систематически находили во всех зданиях.

2.4. Распределение температуры по стенам из ЛСТК

Распределение температуры в однокаркасных конструкциях измеряли как во время проведения серии лабораторных испытаний на устойчивость к атмосферным воздействиям на объектах в натуральную величину, так и в конструкциях домов в г. Юлъярви. Температуры на внутренней поверхности стены достаточно высоки, чтобы предупредить появление ореолов, конденсации на поверхности или даже относительной влажности, достаточно высокой, чтобы способствовать образованию плесени на поверхности стены, рис. 7 и 8. Температура на внутренней поверхности стены в верхней части каркаса на 1-2 °C ниже, чем температура между каркасами.

Температура внешнего фланца стального каркаса зависит от тепловых свойств стены снаружи каркаса, рис. 9. Внешний фланец профиля значительно теплее, чем температура атмосферного воздуха, из-за теплопроводности изнутри вдоль

внутренней перегородки стального профиля. Даже несмотря на то, что перфорированные отверстия в термопрофиле уменьшают теплопроводность вдоль каркаса, остаточная теплопроводность увеличивает температуры во внешних частях рамы, что снижает риск возникновения конденсации и увеличивает потенциал сушки в случае конденсации. Использование внешней водопаропроницаемой теплоизоляции также и в энергосберегающей стене дополнительно улучшает гигротермическую эффективность стены.

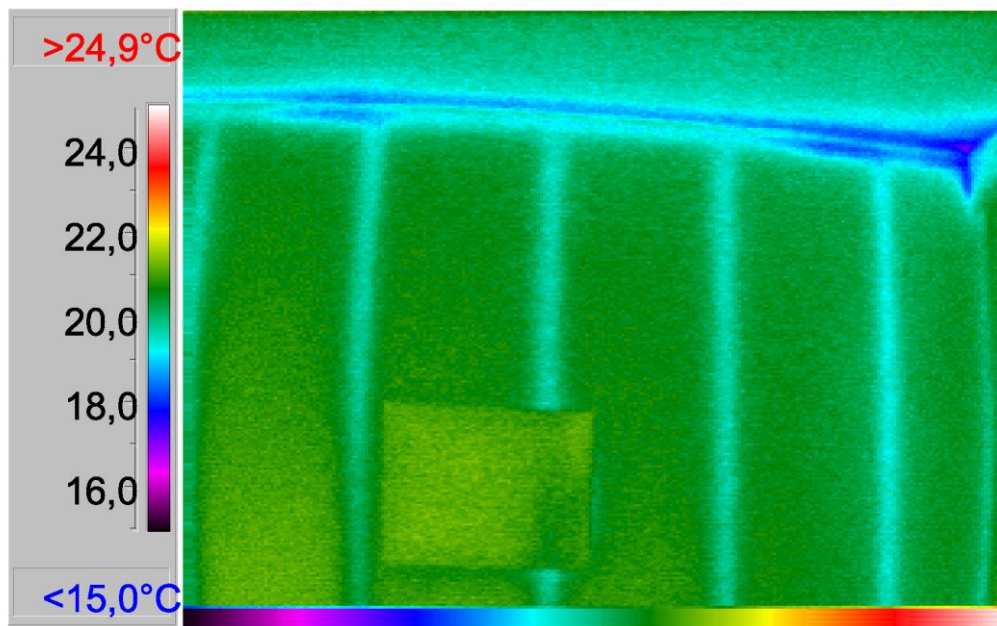


Рисунок 7. Инфракрасное изображение стены из стали.

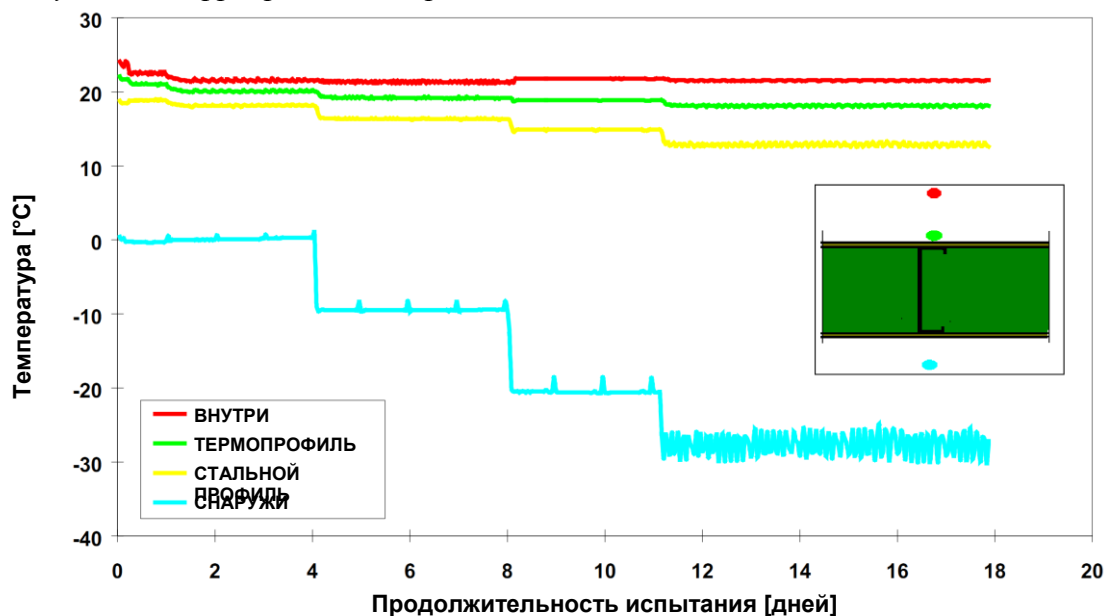


Рисунок 8. Температуры поверхности стены из ЛСТК согласно лабораторному испытанию на устойчивость к атмосферным воздействиям.

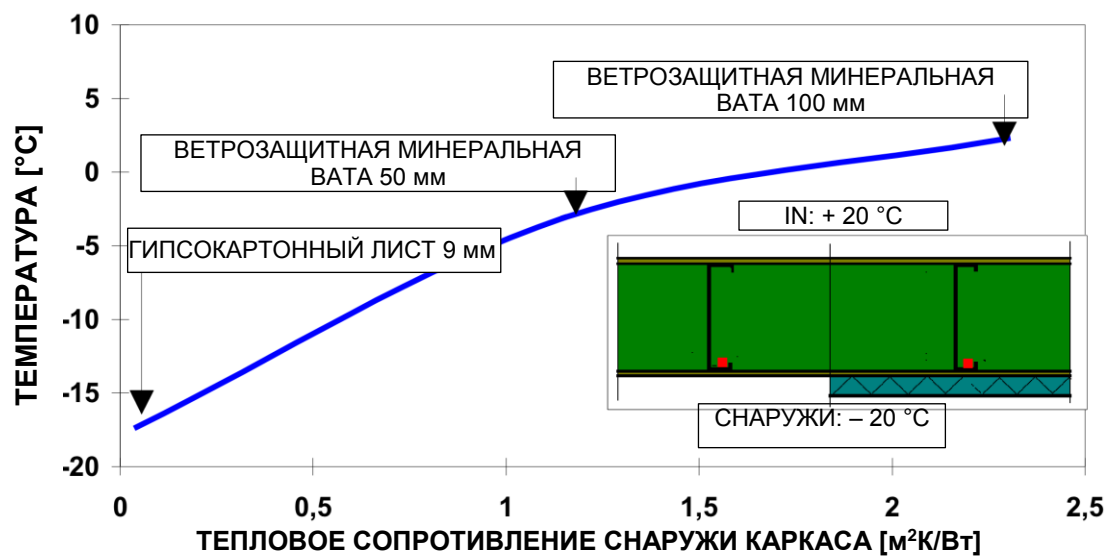


Рисунок 9. Влияние тепловых свойств ветрозащиты (см. рис. 1) на температуру внешних частей каркаса /12/.

3. Долговечность легких стальных тонкостенных конструкций

3.1 Изменение уровня влажности в стенах из ЛСТК

Появление коррозии на металле зависит от микроклимата на поверхности элемента. Возможно появление сплошной коррозии, если одновременно относительная влажность на поверхности металла превышает 80 %, а температура выше 0 °С (ISO 9223, /4/).

На рисунке 10 показаны месячные максимальные значения относительной влажности в восьми точках измерения на внешнем фланце стальных профилей, измеренные в домах из стали в г. Юлъярви. Результаты показывают, что относительная влажность в стене 1 превысила 80 %, но конденсации нет. Влажность в стене 2 не превысила 90 %.

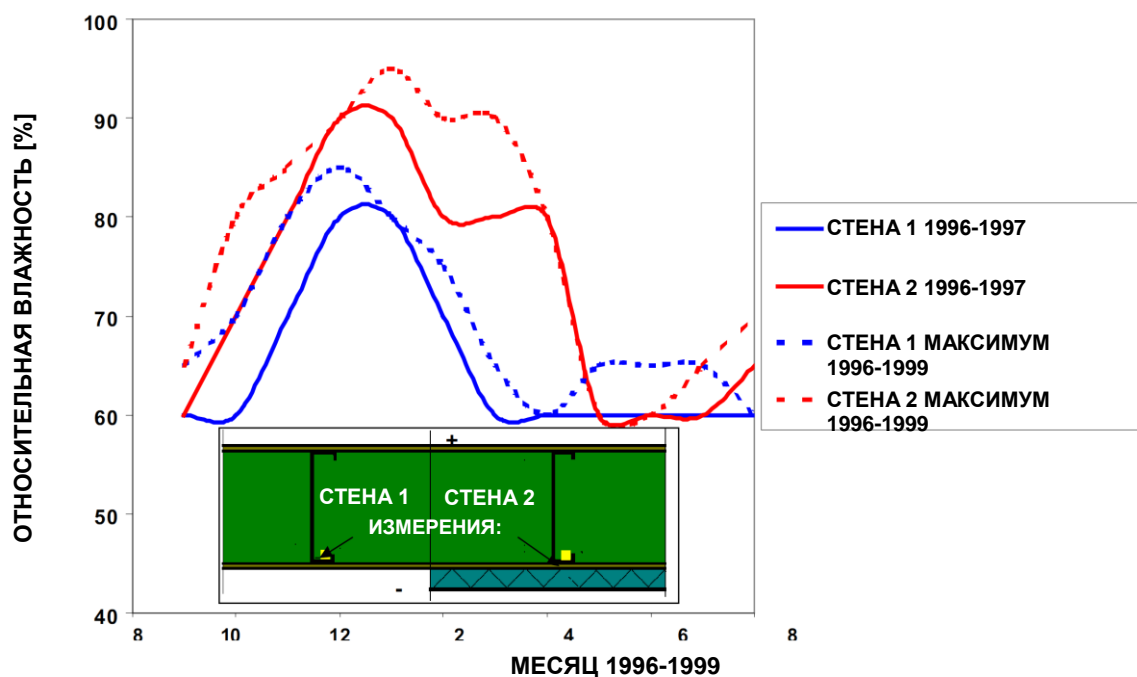


Рисунок 10. Месячный максимум относительной влажности во внешних стенах зданий из стали в г. Юлъярви. Измерения на внешнем фланце стальных элементов.

3.2 Риски возникновения коррозии при контакте материалов с легкими стальными тонкостенными конструкциями

Риски возникновения коррозии при контакте других строительных материалов со

сталью изучаются в ходе долгосрочных лабораторных испытаний. Теплоизолированные стальные каркасы размещают в разных климатических условиях, чтобы проследить влияние влажности материала и воздуха на возникновение коррозии. Изучаемые материалы:

- древесно-волоконистая теплоизоляция
- теплоизоляция из стекловаты
- теплоизоляция из минеральной ваты
- пропитанная древесина

Лабораторное испытание продолжается около 4 лет (35 000 часов в условиях влажности). Условия испытания приведены на рис. 11. Результаты показывают, что целлюлозная теплоизоляция и пропитанная древесина способствуют возникновению коррозии цинка в условиях влажности, но не провоцируют возникновение коррозии на стали согласно исследуемым образцам (рис. 12). На исследуемых образцах, теплоизолированных минеральной ватой, следы коррозии цинка не обнаружены. В случае непрерывной конденсации на всех образцах была обнаружена кромочная коррозия стали. Огнезащитные химические вещества (бура и борная кислота), применяемые при древесно-волоконистой теплоизоляции, подверглись изменениям. Химические вещества рекристаллизировались на поверхности стали, что вызвало более сильную кромочную коррозию в исследуемых образцах, теплоизолированных древесно-волоконистым материалом, по сравнению с другими исследуемыми образцами.


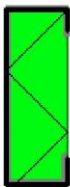
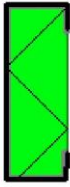
50%, 23 C		50%, 23 C
85%, 23 C		85%, 23 C
<50%, 20 C		100%, 40 C

Рисунок 11. Климатические условия при проведении испытания на устойчивость к коррозии. За исходные условия принимают стандартные условия внутри помещения (вверху). Испытания на устойчивость к коррозии проводят во влажном воздухе (посередине) и в условиях, когда конденсация происходит непрерывно (внизу).

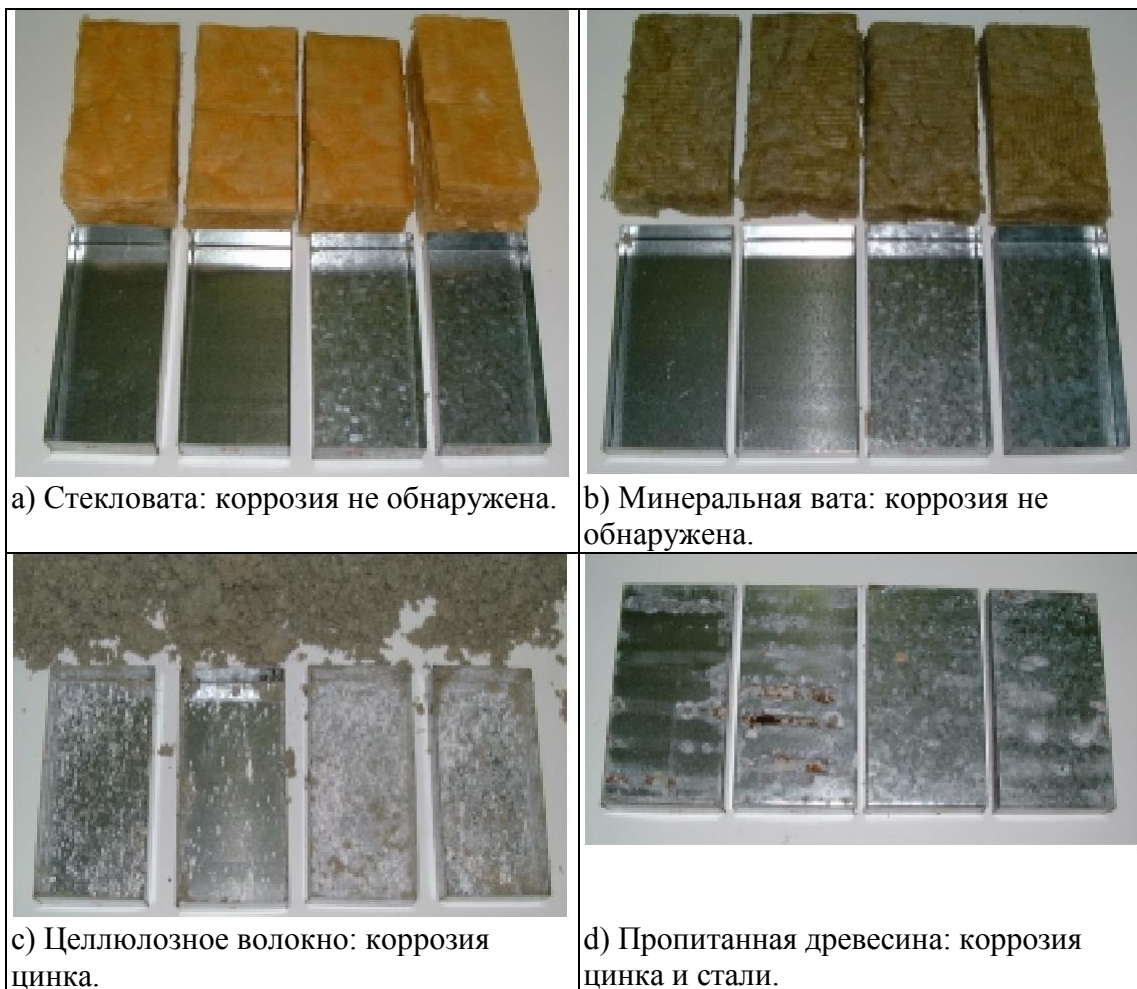


Рисунок 12. Длительное испытание на коррозионную устойчивость стальных элементов, контактирующих с другими материалами. Условия проведения испытаний: температура + 23 °С и относительная влажность 85 %. Продолжительность испытания – 35 000 часов.

3.3. Гигротермическое моделирование

Время воздействия влаги также рассчитали для двух типов стен, изображенных на рис. 13, с использованием двухмерной программы моделирования тепло-, воздухо- и влагопередачи LATENITE /5, 13/:

- Вариант А: стена, изображенная на рис. 6 слева, без внешней теплоизоляции и
- Вариант Б: стена, изображенная на рис. 6 справа, такая же как и в варианте А, за исключением дополнительного слоя внешней теплоизоляции 50 мм из ветрозащитной жесткой минеральной ваты.

В качестве отправной точки использовали климат часового пояса г. Хельсинки, Финляндия и г. Сент-Хуберт, Бельгия. Ориентация стен была северной, что считается наихудшей ориентацией в плане гигротермической эффективности из-за низкого поглощения солнечной радиации. Во время моделирования в расчет не брали дождь с ветром и предполагали, что стены облицованы, а за облицовкой находится хорошая

вентиляционная полость. Исходное состояние слоев материала: температура + 20 °С и относительная влажность 50 %. Состояние воздуха в помещении:

- температура + 22 °С или температура атмосферного воздуха, если выше температуры + 22 °С
- содержание влаги в воздухе в помещении $X_{внутри}$ равно содержанию влаги в атмосферном воздухе $X_{снаружи} + 3$ г/кг, но ограничено $30 \% \leq$ относительной влажности $\leq 80 \%$.

Моделирование проводилось в течение двух лет, начиная с 1 сентября.

Суммарное время воздействия влаги в течение двухлетнего периода на разные части стеновых конструкций показано на рис. 14 и 15 (стена без внешней теплоизоляции) и на рис. 16 и 17 (стена с внешней теплоизоляцией). Результаты действительны при условии, что 1) пароизоляционная мембрана на теплой стороне стены работает по назначению, 2) в стене нет высокого начального содержания влаги и 3) стена была спроектирована и сконструирована таким образом, чтобы избежать утечки влаги в стену (например, при дожде с ветром).

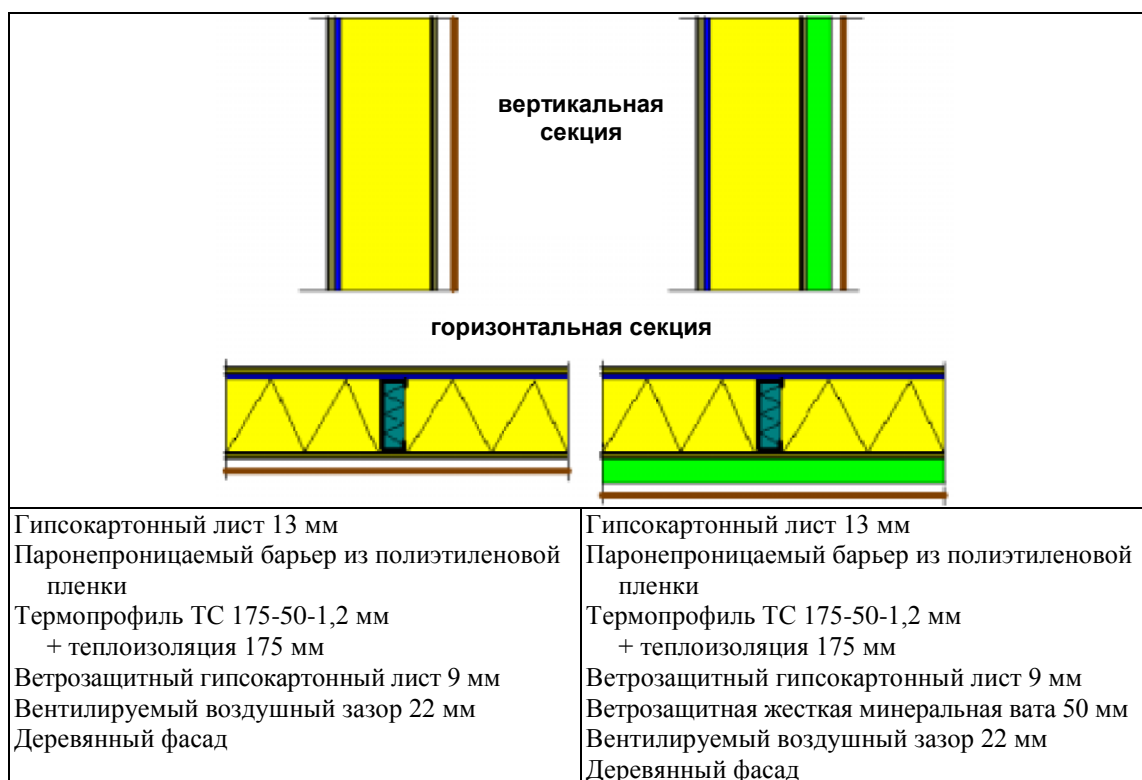


Рисунок 13. Иллюстрация конструкции с использованием перфорированной легкой стальной тонкостенной конструкции без изоляции и с внешней изоляцией.

Результаты показывают, что долговечность стен зависит в основном от внешнего климата и гигротермических свойств ветрозащитных элементов, прикрепленных снаружи профилей. Гигроскопичность гипсовой плиты довольно низкая, но при увлажнении атмосферным воздухом она высыхает довольно медленно. Это явление увеличивает время увлажненности на внешней поверхности внешнего фланца профиля.

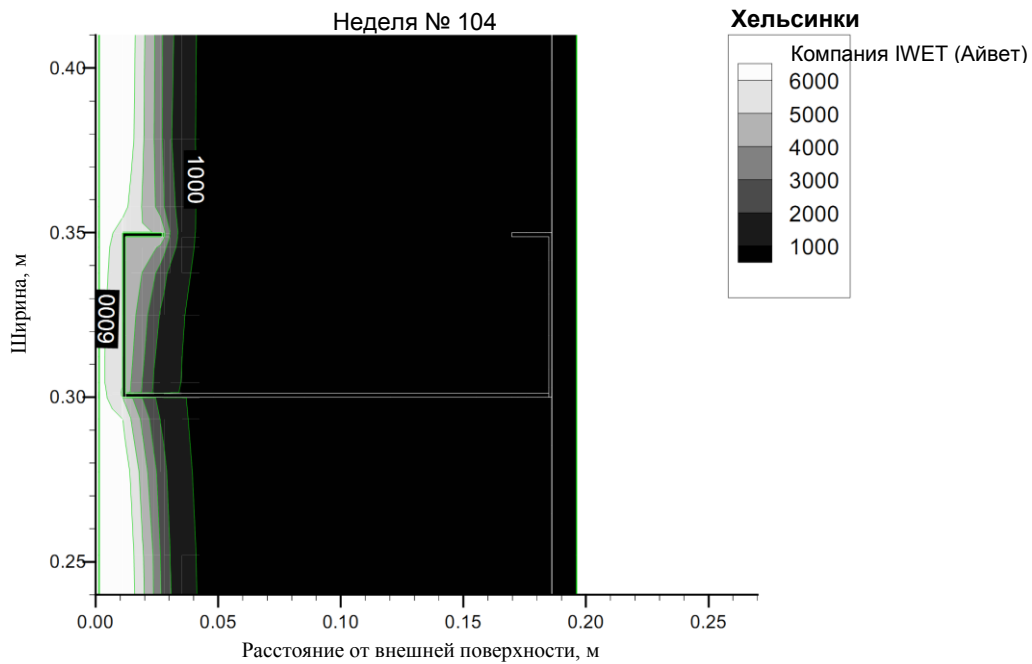


Рисунок 14. Контурный график суммарного времени увлажненности в слоях стальной каркасной стены без внешней теплоизоляции. Внешние условия: Метеорологические данные по г. Хельсинки Продолжительность моделируемого периода – 2 года (104 недели). Стрелка показывает местоположение наивысшего значения контура /14/.

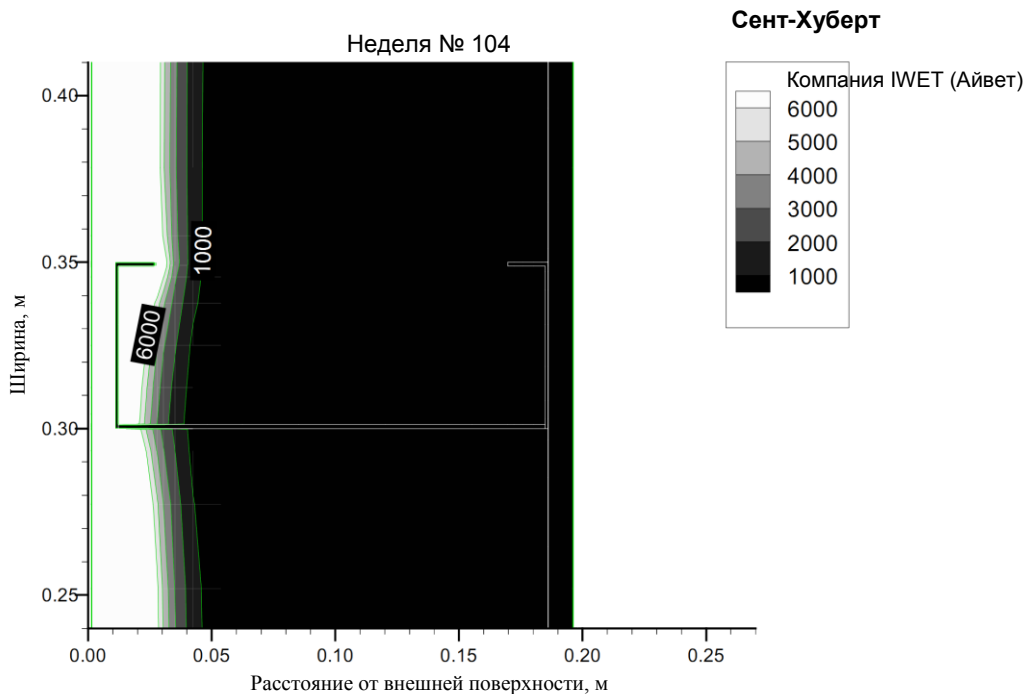


Рисунок 15. Контурный график суммарного времени увлажненности в слоях стальной каркасной стены без внешней теплоизоляции. Внешние условия: Метеорологические данные по г. Сент-Хуберт. Продолжительность моделируемого периода – 2 года (104 недели) /14/.

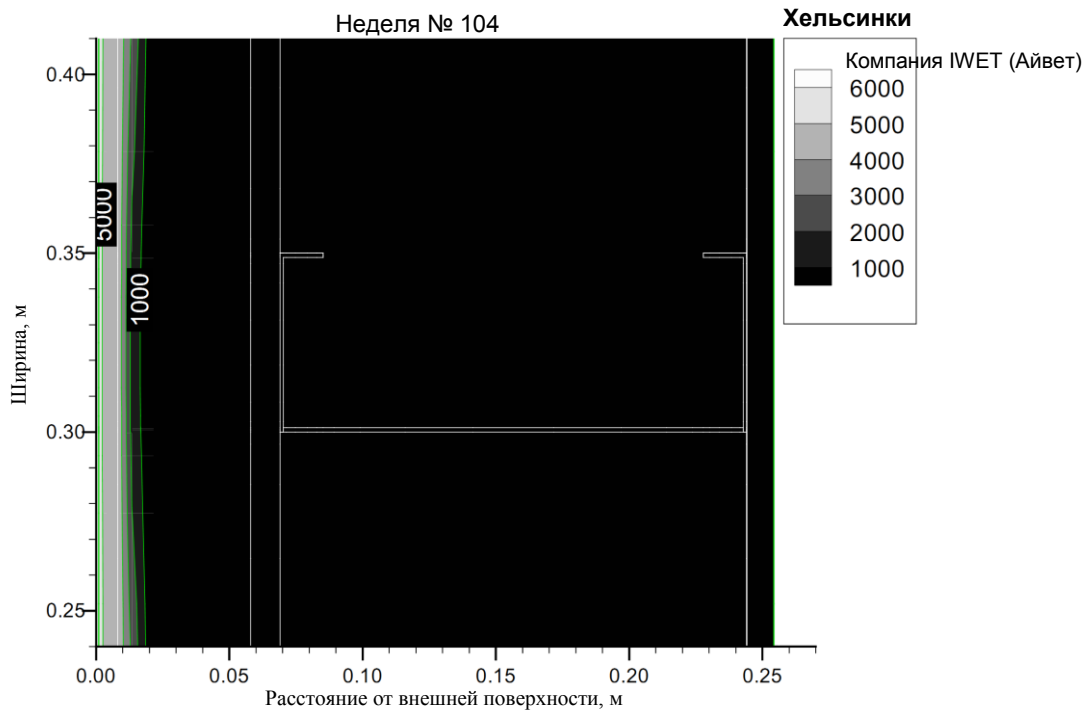


Рисунок 16. Контурный график суммарного времени увлажненности в слоях стальной каркасной стены с внешней теплоизоляцией 50 мм. Внешние условия: Метеорологические данные по г. Хельсинки Продолжительность моделируемого периода – 2 года (104 недели) /14/.

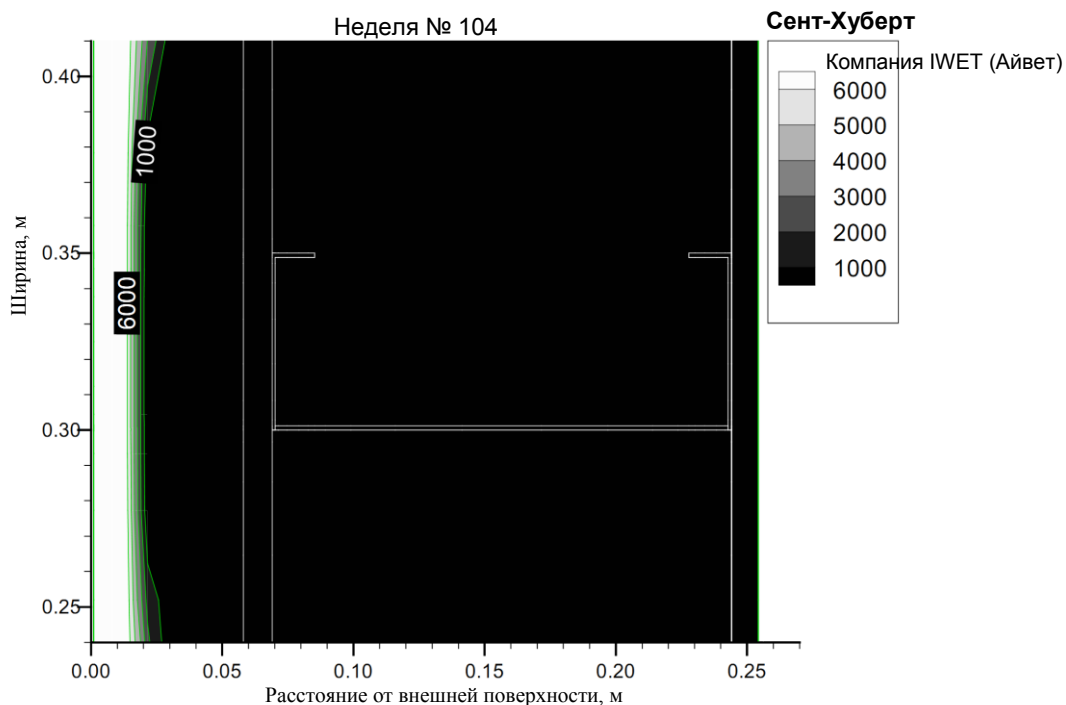


Рисунок 17. Контурный график суммарного времени увлажненности в слоях стальной каркасной стены с внешней теплоизоляцией 50 мм. Внешние условия: Метеорологические данные по г. Сент-Хуберт. Продолжительность моделируемого периода – 2 года (104 недели) /14/.

4. Выводы

Независимо от материалов, из которых изготовлены каркасные конструкции, они образуют тепловые мосты различной степени по слою теплоизоляции. Теплопроводность стали высокая. Стальной каркас в легкой стальной тонкостенной конструкции, расположенный под слоем теплоизоляции, оказывает значительное влияние на тепловую эффективность конструкции. Разработка инструментов для тепловой оценки поспособствовала быстрому развитию однокаркасных конструкций из ЛСТК, вводящих перфорированные внутренние перегородки стального элемента как тепловые разрывы в конструкции. Благодаря перфорационным отверстиям, улучшаются тепловые свойства конструкции. Проведенный анализ показывает, что новое применение перфорированных легких стальных тонкостенных конструкций соответствует требованиям, выдвигаемым к эффективности и долговечности их применения в холодном климате Финляндии.

При правильном проектировании и конструировании риски появления влаги и возникновения коррозии в конструкциях сводятся к минимуму. Согласно долгосрочному лабораторному испытанию и обследованию зданий на месте считается, что стальной каркас, теплоизолированный минеральной ватой, обладает очень хорошей устойчивостью к коррозии и, следовательно, имеет длительный срок эксплуатации.

Эффективность теплоизолированной конструкции зависит от эффективности разных слоев материала в составе конструкции. Соединение ветрозащитного гипсокартонного листа со стальным каркасом может снизить коррозионную устойчивость цинкового покрытия благодаря медленным изменениям влажности из-за гигротермических свойств гипсокартонного листа с картонными поверхностями. Во влажных условиях древесно-волоконистая теплоизоляция и пропитанная древесина образуют щелочную среду и, следовательно, увеличивают скорость коррозии цинкового покрытия. Однако правильный дизайн и установка могут помочь избежать рисков.

Согласно результатам расчетов и измерениям в эксплуатационных условиях, проведенных для домов из стали в г. Юлъярви, свойства ветрозащитного материала и конструкции фасада оказывают важное воздействие на общую эффективность конструкции. Увеличив тепловое сопротивление ветрозащитного материала, риск возникновения коррозии от воздействия влаги снаружи или изнутри здания можно свести к минимуму. Водопаропроницаемая и ветрозащитная внешняя теплоизоляция увеличивают потенциал сушки конструкции.

Срок эксплуатации конструкции можно определить согласно стандарту ISO 9223 "Коррозия металлов". Возникновение коррозии зависит от продолжительности

воздействия влаги. Принимая во внимание все результаты различных исследовательских проектов, продолжительность воздействия влаги в наиболее критической точке конструкции составляет от 0 до 2 600 часов в климатических условиях г. Хельсинки и 0-6100 часов в климатических условиях г. Сент-Хуберт в зависимости от состава конструкции. Коррозия цинкового покрытия классифицируется как класс C1 или C2 (стандарт ISO 9223) со сроком эксплуатации цинкового покрытия от 40 лет до более 100 лет. В классе C1 линейная скорость коррозии цинкового покрытия составляет менее 0,05 мкм, а в классе C2 – менее 0,5 мкм в год. Если брать во внимание тепловое и гигротермическое воздействие на облицовку фасада и предположить, что воздействие влаги будет сведено к минимуму, в таком случае срок эксплуатации цинкового покрытия будет намного дольше.

Список литературы

1. Blomberg, T. Heat conduction in two and three dimensions. Computer modeling of building physics applications. Lund 1996. Lund University. Report TVBH-1008.
2. DIN 52611. 1991. Teil 1. Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes von Bauteilen. Prüfung im Laboratorium. Deutsche Institut für Normierung.
3. ISO 8990. International standard 1994. Thermal insulation. Determination of steady-state thermal transmission properties. Calibrated and guarded hot box. International Organization for Standardization.
4. ISO 9223. International standard 1992. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification. International Organization for Standardization.
5. Karagioziz, A., Salonvaara, M. and Kumaran, K. 1994. LATENITE, Hygrothermal material database, IEA Annex 24 International Energy Agency IEA Report TI-CA-94/04.
6. Leino, T., Häkkä-Rönholm, E., Nieminen, J., Koukkari, H., Hieta, J., Vesikari, E. and Törnqvist, J. 1998. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Service life design of steel structures. Service life design of steel structures.
7. Low-energy steel house for a cold climate. ECSC project application of steel in urban habitats. Project n:o 7210-SA/902 – 95 – F6.1. Final Report. Rautaruukki Oy 1998.
8. Mao, G. 1997. Thermal bridges. Efficient models for energy analysis in buildings. Dissertation. Division of Building Technology, Department of Building Sciences, Kungliga Tekniska Hogskolan, Stockholm. Bulletin No 173. ISSN 0346-5918.
9. Nieminen, J. 1997. New well insulated light-gauge steel framed wall structure. Proceedings of the 5th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, Lithuania, May 24-26, 1997. Vilnius Geminida Technical University.
10. Nieminen, J., Kouhia I., Johanneson, G. and Mao, G. 1995. Design and thermal performance of insulated sheet metal structures. Proceedings of the Nordic Steel Construction Conference'95. Malmö, Sweden, June 19-21, 1995.
11. Nieminen, J., Saari, M., Salmi, P. and Tattari, K. 1997. Low energy steel house for a cold climate. Proceedings of the International Conference Cold Climate

HVAC'97. Reykjavik, Iceland May 1-2, 1997 Iceland Heating, Ventilating and Sanitary Association ICEVAC.

12. Nieminen, J. and Salonvaara, M. 1999. Long-term performance of light-gauge steel-framed envelope structures. Proceedings of the Fourth International Conference on Steel and Aluminium Structures ICSAS'99. Elsevier Science Ltd. ISBN 0-08-043014-7.
13. Salonvaara, M. and Karagiozis, A. 1994. Moisture transport in building envelopes using an approximate factorization solution method. In: Proceedings of the Second Annual Conference of the CFD Society of Canada Ed. by James J. Gottlieb and C. Ross Ethier. Toronto, June 1-3, 1994.
14. Salonvaara, M. and Nieminen, J. 1998. Hygrothermal performance of a new light-gauge steel-framed envelope system. Journal of Thermal Environment and Building Science (22) 1998.
15. Teräsrunkoisen julkisivuelementin suunnitteluohje. 1993. Teräsrakenneyhdistys r.y. TRY. ISBN 952-9683-04-9
16. Программа исследования стали при поддержке ВТТ Технология строительства ВТТ In print.

Под
издательством

/Логотип/

ул. Вуоримиехентие, 5, а/я 2000, FIN-02044 ВТТ, Финляндия
Внутренний тел. +358 9 4561
Факс +358 9 456 4374

Серийное название, номер и
отчетный код публикации
Аналитические записки ВТТ
2070
VTT-TIED-2070

Автор (-ы) Юрий Ниэминен и Микаэль Салонваара.			
Название Гигротермическая эффективность стен из ЛСТК			
Аннотация Гигротермическую эффективность новой системы ограждающих конструкций из легких стальных тонкостенных конструкций проверяли с помощью трехмерного моделирования тепловых режимов, двухмерного моделирования комбинированной тепло-, воздухо- и влагопередачи, лабораторных испытаний в калиброванных и защищенных теплоизолированных камерах (ISO 8990), испытаний на устойчивость к атмосферным воздействиям полноразмерных конструкций, испытаний на коррозионную устойчивость и измерений в эксплуатационных условиях на экспериментальных зданиях в г. Юлъярви, Центральная Финляндия. Результаты исследований показывают, что современная стальная стеновая конструкция, основанная на перфорированных стальных профилях, удовлетворительно работает в холодном климате Финляндии. Перфорационные отверстия значительно уменьшают потери тепла вдоль внутренней перегородки профиля. Измерения в эксплуатационных условиях показывают, что конденсат в каркасе не образовывается. Измерения температуры и инфракрасные съемки в демонстрационных зданиях показывают, что температура поверхности достаточно высока, чтобы предотвратить конденсацию на поверхности или даже повышенную влажность на поверхности. Согласно расчетам в стальных каркасах в условиях финского климата не наблюдается вероятность возникновения серьезной коррозии. Однако климат оказывает значительное влияние на эффективность конструкций, поэтому конструкции должны быть спроектированы с учетом климатических условий.			
Ключевые слова ограждающая конструкция, металлоконструкции, легкие стальные тонкостенные конструкции, испытания на коррозионную устойчивость, устойчивость к атмосферному воздействию, влага, конденсация на поверхности, климатические условия, теплопередача			
Хозяйственная единица Технология строительства, строительная физика, строительные услуги и противопожарная техника ВТТ, ул. Лампёмиехенкуя, 3, а/я 1804, FIN-02044 ВТТ, Финляндия			
ISBN 951-38-5772-7 (раннее издание в мягком переплете) 951-38-5773-5 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Номер проекта R8SU00655	
Дата Декабрь 2000	Язык Английский	Страницы 26 стр.	Цена А
Название проекта Программа исследования стали при поддержке ВТТ		По заказу Раутаруукки Оий, Оутокумпу Поларит Ои, Финская ассоциация стальных конструкций, Национальное технологическое агентство (Текес), Программа исследования стали при поддержке ВТТ, Европейское объединение угля и стал (ЕОУС)	
Серийное название и ISSN (международный стандартный номер сериальных изданий) Пресс-релизы – Сообщения – Аналитические записки ВТТ 1235-0605 (раннее издание в мягком переплете) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Реализован: Информационная служба ВТТ а/я 2000, FIN-02044 ВТТ, Финляндия Внутренний тел. +358 9 456 4404 Факс +358 9 456 4374	

ПРЕСС-РЕЛИЗЫ – СООБЩЕНИЯ – АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАПИСКИ ВТТ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВТТ – СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВТТ – СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВТТ

- 1979 Nieminen, Jyri & Kouhia, Ilpo. Hyvin eristetyin loivan katon toimivuus ja vaatimukset. 1999. 38 s. + liitt. 3 s.
- 1981 Hakkarainen, Tuula (ed.) Smoke gas analysis by Fourier transform infrared spectroscopy. The SAFIR project. 1999. 81 p.
- 1988 Lahdenperä, Pertti. Ajatuksia ST-urakasta. Suomalaisen suunnittelu ja toteutus -menettelyn kehittäminen amerikkalaisten oppien pohjalta. 1999. 40 s. + liitt. 2 s.
- 1990 Keski-Rahkonen, Olavi & Björkman, Jouni. Palotilastoja Suomesta ja ulkomailta toiminnallisten palosäädösten perusteiksi. 1999. 56 s.
- 1991 Kokko, Erkki, Ojanen, Tuomo, Salonvaara, Mikael, Hukka, Antti & Viitanen, Hannu. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. 1999. 160 s.
- 1994 Leppänen, Pekka, Pulakka, Sakari, Saari, Mikko & Viitanen, Hannu. Life-cycle-cost optimised wooden multi-storey apartment building. Nordic Wood, Phase 2, Project P-2. Final report. 1999. 73 p.
- 1997 Jokinen, Petri, Lahtinen, Reima & Lehmus, Eila. Teräsrakenteiden suojaus kaariruiskutetulla sinkkipinnoitteella. 1999. 50 s. + liitt. 14 s.
- 2001 Haakana, Maarit & Soitinaho, Ulla. Kiinteistönhoitohenkilöstön motivointi energiansäästöön. Kokemukset koulukohteista. 1999. 43 s. + liitt. 14 s.
- 2002 Andstén, Tauno, Juutilainen, Hemmo, Vaari, Jukka & Weckman, Henry. Test method for actuating and safety devices of portable fire extinguishers. Nordtest Project No. 1435-99. 1999. 40 p. + app. 25 p.
- 2003 Vainio, Terttu, Riihimäki, Markku & Mäkelä, Pekka. Rakennuskustannusindeksi 2000. 1999. 70 s. + liitt. 2 s.
- 2005 Baroudi, Djebar, Kokkala, Matti & Weckman, Henry. Savuilmamaisimien toiminta-aikojen laskentaohjelma PALDET 2.1S. 1999. 37 s. + liitt. 1 s.
- 2013 Tillander, Kati & Keski-Rahkonen, Olavi. Palokunnan saatavuuden merkitys rakennuksen paloriskitarkastelussa. 2000. 213 s. + liitt. 55 s.
- 2025 Riihimäki, Markku & Lehtinen, Erkki. Talopakettien asuinrakentamisessa. Valmisosien yleisyys toimituksissa. 2000. 44 p.
- 2027 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo, Lindberg, Liisa & Kokkala, Matti. Vyöhykemalliohjelman CFAST-kelpoisuuden arviointi. 2000. 51 s. + liitt. 14 s.
- 2028 Kokkala, Matti. Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu. Toiminnallinen lähestymistapa. 2000. 63 s. + liitt. 15 s.
- 2029 Helenius, Antti. Shear strength of clinched connections in light gauge steel. 2000. 40 p. + app. 13 p.
- 2030 Rantamäki, Jouko, Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko, Viitanen, Hannu, Kalliokoski, Pentti, Keskikuru, Timo, Kokkoti Helmi & Pasanen, Anna-Liisa. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet. 2000. 40 s. + liitt. 6 s.
- 2041 Virola, Heli & Raivio, Paula. Portlandsementin hydrataatio. 2000. 61 s.
- 2047 Leivo, Markku. Betonin pakkasenkestävyyden varmistaminen. Osa 2. Laadunvalvonta ja -varmistus. 2000. 13 s. + liitt. 25 s.
- 2048 Kuosa, Hannele. Älykkäät betonit ja betonirakenteet. 2000. 35 s. + liitt. 9 s.
- 2049 Lehtinen, Jari. Rakennushankkeen turvallisuusjohtaminen. Korkea rakennuskohde. 2000. 77 s. + liitt. 16 s.
- 2051 Karhu, Vesa & Loikkanen, Kaisu. Japanese and Chinese construction and facilities management software markets. Preliminary study. 2000. 58 p. + app. 4 p.
- 2053 Luoma, Marianna & Pasanen, Pertti. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus 15 toimistorakennuksessa. Puhdistuksen ja säädön vaikutus toimistotilojen kanavien puhtauteen, ilmanvaihtuvuuteen, tuloilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin. 2000. 43 s. + liitt. 6 s.
- 2054 Riihimäki, Markku & Lehtinen, Erkki. Luonnonkiviteollisuuden markkinat. 2000. 57 s. + liitt. 19 s.
- 2056 Kuosa, Hannele & Vesikari Erkki. Betonin pakkasenkestävyyden varmistaminen. Osa 1. Perusteet ja käyttöikämitoitus. 2000. 141 s.
- 2070 Юрий Ниэминен и Микаэль Салонваара Hygrothermal performance of light steel-framed walls. 2000. 26 p.
- 2072 Paiho, Satu, Leskinen, Mia & Mustakallio, Panu. Automaatiojärjestelmän hyödyntäminen energiatietoisien käytön apuvälineenä. 2000. 63 s.