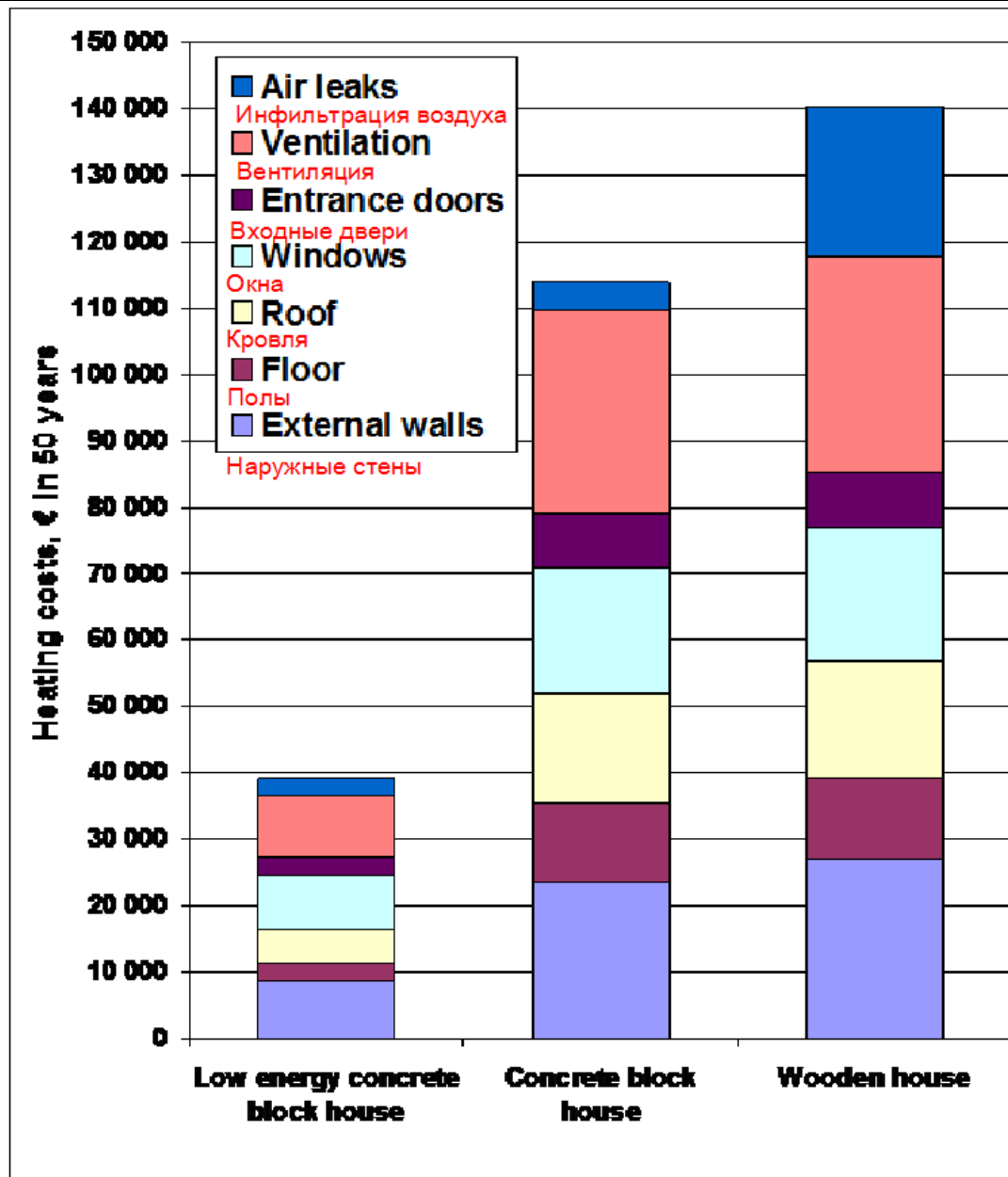


Затраты на отопление в евро за 50 лет эксплуатации



Дом низкого
энергопотребления
из бетонных блоков

Дом
из бетонных блоков

Деревянный
дом

Low energy concrete block house

Дом низкого энергопотребления
из бетонных блоков

Comparison calculations on energy
consumption of single-family houses

Сравнительные расчеты потребления
энергии дома на одну семью

По материалам

<http://www.kevytsoraharkko.fi>

<p>RET SINGLE-FAMILY HOUSE</p> <p>Building volume 466 m³ Air volume 347 m³ Net apartment area 142 m² Gross area 163 m²</p> <p><i>Figure 1. Base plan and dimensions of the RET single-family house (Shemeikka et al. 2005).</i></p>	<p>ДОМ НА ОДНУ СЕМЬЮ</p> <p>Объем здания 466 м³ Объем воздуха 347 м³ Жилая площадь 142 м² Общая площадь 163 м²</p> <p><i>Рисунок 1. План и размеры дома (Shemeikka et al. 2005)</i></p>
<p>2.Calculation method</p> <p>Energy consumption was calculated on a monthly basis using the method described in standard EN 832. The calculations are based on weather data for the Helsinki area. In each calculated case the heating season was from September till May.</p>	<p>2 Метод расчетов</p> <p>Потребление энергии рассчитывалось по методу, описанному в стандарте EN 832. Расчеты основаны на погодных данных в Хельсинки. В каждом просчитанном случае отопительный сезон был начат в сентябре и закончен в мае.</p>
<p>3.Input data</p> <p>The structural solutions were based on tenders received from house suppliers in reply to a quotation request. The objective was to use the best-selling structural solutions as the basis for the calculations. The material supplied by the manufacturers varied a lot. Some manufacturers provided very detailed technical data, while others sent mainly sales brochures. The data obtained was utilised in applicable part. Missing data were determined on the basis of the supplied material and other available information as well as expert evaluations. For all the house types an compensation calculation of heat losses was performed to verify compliance of the solution with the building code (Laine & Saari 2005). All the solutions conformed to the national building code of Finland (C3, C4, D2, D3 and D5). The initial data for and the main results of the calculations are shown in Table 1.</p>	<p>3 Данные</p> <p>Конструктивные решения были основаны на тендерах, полученных от поставщиков домов в ответ на запрос калькуляции строительства. Целью было использовать в качестве базы для расчетов наиболее продаваемые конструктивы домов. Данные, предоставляемые поставщиками, значительно варьируются. Некоторые производители дают очень подробную техническую информацию, другие же высылают лишь рекламные буклеты. Полученные данные были использованы только там, где они могли быть применены. Недостающая информация была определена на основе переданных данных, другой имеющейся информации, а так же методом экспертных оценок. Для всех типов домов расчет компенсации потерь на отопление был произведен с целью доказать соответствие решений строительному кодексу (Laine & Saari 2005). Все решения находятся в соответствии с национальным строительным кодексом Финляндии (C3, C4, D2, D3 и D5). Информация и основные результаты расчетов показаны в таблице 1.</p>
<p>3.1 Foundations and floor slab</p> <p>All the houses are supported on solid ground. The lightweight aggregate block foundation is mounted on a concrete base. The floor slab is a concrete slab. In the standard house solutions the U value of the floor slab meets the minimum requirements of the national building code (U value = 0.25 W/m²K). A lower than required U value was used for the log house (U value = 0.21 W/m²K). The lower U value was utilised in the compensation calculations of heat losses. In the low energy concrete block house the U value of the floor structure is 0.15 W/m²K, which corresponds to a ca. 250 mm thick EPS heat insulation layer (EPS = expanded polystyrene, brand names include e.g. styrox). When the heat resistance of the ground is added to the U value of the structure, the U value of the floor slab is 0.12 W/m²K.</p>	<p>3.1 Фундамент и плиты перекрытия</p> <p>Все здания построены на скальном основании. Фундамент собираются из керамзитобетонных блоков. Плиты перекрытия - бетонные. При стандартном исполнении здания показатель U плит перекрытия соответствует минимальным требованиям национального строительного кодекса (значение U = 0.25 W/m²K). Более низкое, чем требуется, значение показателя U было применено для бревенчатого дома (значение U = 0.21 W/m²K). Более низкое значение показателя U было использовано для компенсации расчетов потерь на отопление. В зданиях из трехслойных блоков с низким энергопотреблением значение показателя U конструкции пола составляет 0.15 W/m²K, что соответствует примерно 250 мм толщине теплоизоляционного слоя из пенополистирола. Тепловая инерция грунта добавляется к значению показателя U конструкции, значение показателя U плит перекрытия становится равным 0.12 W/m²K.</p>
<p>3.2 External walls</p> <p>In the conventional house solutions the U value of the external walls complies with the minimum requirement of the national building code (U value = 0.25 W/m²K). In the log house, the Siporex house and the old type concrete block house the U value exceeds the required level. In these houses solutions had to be found to reduce heat losses in other structures or the ventilation system to ensure compliance with the national building code. In the calculations smaller heat losses were defined for the envelope. In the log house the solution used in the walls was a 204 mm massive log wall with a U value of 0.53 W/m²K. A heat conductivity value of 0.12 W/mK was used in the calculations for wood. In compliance with standard practice, the backgrounds of fixed cabinets, the sanitary areas and other corresponding wall sections were provided with extra insulation to ensure an average U value of 0.40 W/m²K for the external walls. In the Siporex house the external wall is a 375 mm lightweight concrete block wall of thin joint construction. Several values are given for the heat conductivity of a lightweight concrete wall ($\lambda = 0.11 \dots 0.14$ W/mK). For the calculations the value specified in the national building code, part C4 (Thermal insulation. Guidelines 2003) was selected (0.125 W/mK). The use of this value requires that the wall be not subjected to inclined rain. In the RET single-family house</p>	<p>3.2 Внешние стены</p> <p>В стандартных исполнениях зданий значение показателя U внешних стен соответствует минимальным требованиям национального строительного кодекса (значение U = 0.25 W/m²K). В бревенчатых домах и домах из Сипорекса (газобетона) и домах из трехслойных бетонных блоков старого типа и керамзитобетонных блоков значение показателя U превышает необходимый уровень. Для данных строений необходимо искать варианты по снижению потерь тепла для других конструкций или системы вентиляции для того, что бы обеспечить соответствие национальному строительному кодексу. При расчетах для внешнего покрытия были определены меньшие потери тепла. В бревенчатых домах решение было следующим - применение 204 мм бревен с уровнем показателя U 0.53 W/m²K. Значение теплопроводности 0.12 W/мК было использовано при расчетах показателей для древесины. В соответствии со стандартной практикой, отделка стационарных кабин, санитарных помещений и других соответствующих стен была выполнена с дополнительной защитой для обеспечения среднего значения показателя U 0.40 W/m²K для внешних стен. В домах из Сипорекса (газобетона) внешние стены состоят из 375 мм блоков. Заявляются несколько возможных значений теплопроводности газобетонных стен ($\lambda = 0.11-0.14$ W/mK). Для расчетов было выбрано значение, указанное в национальном строительном кодексе, часть C4 (Thermal insulation. Guidelines 2003) равное 0.125 W/mK. Использование данного значения возможно только в том случае, если</p>

<p>only the terrace walls are protected against driving rain.</p> <p>The U value of the external wall in the house realised using insulating blocks that meet the heat insulation requirements of the old national building code (Part C3 Thermal insulation in a building. Regulations 1985) is 0.26 W/m²K (thickness of EPS insulation ca. 100 mm).</p> <p>For the wooden houses the cold bridges typical of timber construction were taken into consideration in the calculations. Cold bridges include e.g. sole plates and head binders as well as top rails over openings and extra studs required for the fixing of windows and doors (if and when the window division does not match the stud spacing). For demonstrating compliance with the building code, it is sufficient to take the stud spacing of the unbroken wall structure into consideration (c/c 600). In the energy calculations the cold bridges were considered in more detail. It was presumed that the cold bridges increase the U value of the wall by 0.02 W/m²K. This presumption is based on the cold bridge calculation shown in reference (Laine & Saari 2005).</p> <p>The U values of the external walls in the low energy concrete block houses were 0.15 W/m²K (thickness of EPS insulation ca. 200 mm) and 0.19 W/m²K (thickness of EPS insulation ca. 170 mm).</p> <p>In insulating block walls the U value and the required insulation thickness are influenced by e.g. the heat conductivity of the insulation materials, any dovetail joints, masonry joints and the use of wool insulation between the blocks.</p>	<p>стены не подвержены воздействию косого дождя. В доме на одну семью RET только стены террасы защищены от проливного дождя.</p> <p>Значение показателя U для внешних стен дома из трехслойных блоков, удовлетворяющих требованиям по термоизоляции, указанным в старом национальном строительном кодексе (Часть C3 Thermal insulation in a building. Regulations 1985), составляет 0.26 W/m²K (толщина пенополистирольной изоляции примерно 100 мм).</p> <p>Для деревянных каркасных домов при расчетах за основу были взяты конструкции с применением металлических скоб. Такой метод включает в себя, например, использование бруса и уголков, а так же швеллеров или дополнительных зажимов для фиксации окон и дверей (если окно не соответствует проему). Для демонстрации соответствия строительному кодексу достаточно взять отверстия для крепежа в цельной конструкции стены (с шагом 600мм). При теплоэнергетических расчетах использование металлических скоб было рассмотрено более детально. Было предположено, что использование металлических скоб увеличивает значение показателя U для стен на 0.02 W/m²K.</p> <p>Значение показателя U для внешних стен в домах из трехслойных бетонных блоков с низким энергопотреблением составляет 0.15 W/m²K (толщина пенополистирольной изоляции примерно 200 мм) и 0.19 W/m²K (толщина пенополистирольной изоляции примерно 170 мм).</p> <p>Утепление стен из обычных трехслойных блоков значение показателя U и требуемая толщина теплоизоляции зависят, например, от теплопроводности теплоизоляционных материалов и конструктивного соединения ласточкиным хвостом пенопласта в блоках, и использования минваты в качестве изоляции между блоками в кладочном шве.</p>
<p style="text-align: center;">3.3 Roof slab</p> <p>In the conventional house solutions the U value of the roof slab was the minimum value required by the building code (U value = 0.16 W/m²K). In the Siporex house and the log house the U value was slightly better, as the roof slab was improved in the equalisation calculations of heat losses.</p> <p>In the low energy concrete slab houses the U value of the roof slab was 0.08 W/m²K (thickness of mineral wool insulation e.g. 500 ... 600 mm).</p>	<p style="text-align: center;">3.3 Кровельные покрытия</p> <p>В стандартных исполнениях зданий значение показателя U для кровельных плит соответствует минимальным требованиям строительного кодекса (значение U = 0.16 W/m²K). В домах из Сипорекса (газобетона) и в домах из бревен значение показателя U было немного лучше, т.к. показатель для кровельных плит был улучшен при расчете средних теплопотерь. В домах с плитами с низким энергопотреблением значение показателя U для кровельных плит составляло 0.08 W/m²K (толщина изоляции из минеральной ваты примерно 500-600 мм).</p>
<p style="text-align: center;">3.4 Windows and entrance doors</p> <p>In the conventional house solutions the U value of the windows was the minimum value required by the building code (U value = 1.4 W/m²K). In the house realised using the old concrete block type, as well as in the Siporex house and the log house the U value was slightly better, as the window was improved in the equalisation calculations of heat losses. For these windows the total solar energy transmittance (g value) was 0.68.</p> <p>In the low energy concrete block house the windows were selected on the basis of the new national energy classification of windows (category A). The U value of the windows was 1.0 W/m²K and the g value 0.60.</p> <p>In the conventional houses the U value of the doors was 1.4 W/m²K.</p> <p>In the low energy concrete block houses the U value of the doors was ca. 0.7 W/m²K.</p>	<p style="text-align: center;">3.4 Окна и входные двери</p> <p>В стандартных исполнениях зданий значение показателя U для окон соответствует минимальным требованиям строительного кодекса (значение U = 1.4 W/m²K). В зданиях, построенных с использованием бетонных блоков старого типа, а так же в домах из Сипорекса (газобетона) и бревенчатых домах значение показателя U было немного лучше, т.к. показатель для окон был улучшен при расчете средних теплопотерь. Для таких окон общий коэффициент пропускания солнечного света составлял 0.68.</p> <p>В домах из бетонных блоков с низким энергопотреблением окна выбирались в соответствии с новой национальной системой классификации окон (категория А). Значение U для дверей составляло 1.0 W/m²K, а значение в г - 0.60.</p> <p>В стандартных домах показатель U для дверей составляет 1.4 W/m²K.</p> <p>В домах из бетонных блоков с низким энергопотреблением показатель U для дверей составляет примерно 0.7 W/m²K.</p>
<p style="text-align: center;">3.5 Ventilation heat recovery</p> <p>For all the house solutions, a value of 50 dm³/s was used in the calculations for the exhaust air flow, which gives an air change value of 0.5 l/h. This complies with the minimum reference values specified in Section D2 of the national building code.</p> <p>In the conventional houses ventilation is realised by means of conventional ventilation units, for which the temperature efficiency of heat recovery is 50%. This means that in the calculations an annual efficiency of 30% can be used for heat recovery. The specific fan power of the ventilation system is 2.5 kW/(m³/s), which corresponds to the guidelines of the building code.</p> <p>In the low energy concrete block houses ventilation is realised with an energy-efficient ventilation unit. The annual efficiency of heat recovery is 65%. The heat recovery system is</p>	<p style="text-align: center;">3.5 Регенерация тепла в вентиляции</p> <p>Для всех конструкций домов значение 50 дм³/с было использовано при проведении расчетов по потоку отработанного воздуха, при котором значение воздухообмена равняется 0.5 л/ч. Это соответствует минимальным нормам, указанным в секции D2 национального строительного кодекса.</p> <p>В стандартных домах вентиляция осуществляется при помощи стандартных вентиляционных устройств, для которых эффективность регенерации тепла составляет 50%. Это означает, что при расчетах может быть использовано значение годовой эффективности 30%. Энергия, необходимая для вентилятора, составляет 2.5 kW/(м³/с), что соответствует нормам, указанным в строительном кодексе.</p> <p>В домах из бетонных блоков с низкой энергоемкостью вентиляция обычно осуществляется при помощи энергосберегающего устройства. Годовая эффективность регенерации тепла составляет 65%. Система регенерации тепла основана на использовании противоточного воздухонагревателя, оборудованного</p>

<p>based on a counterflow plate heat exchanger, equipped with an energy-efficient anti-freeze system. The specific fan power of the ventilation system is 1.9 kW/(m³/s).</p>	<p>энергосберегающей системой охлаждения. Энергия, необходимая для вентилятора, составляет 1.9 kW/(м³/с).</p>
<p>3.6 Air-tightness of envelope Literature-based measurement results were utilised in the calculations (<i>Kauppinen et al. 1999, Korpi et al. 2004</i>). The Siporex houses and the concrete block houses display good air-tightness properties. For them, good air-tightness was used in the calculations, with the air leakage n₅₀ at 1.0 l/h. For the log house poor air-tightness was used, air leakage n₅₀ = 10.0 l/h. A slightly better than average air-tightness was applied to the wooden house built of prefabricated elements, n₅₀ = 3.0 l/h, while for the wooden house built on site an air-tightness value slightly poorer than average was used, n₅₀ = 5.0 l/h. According to literature, the average air leakage of single-family houses is n₅₀ = 4.0 l/h.</p>	<p>3.6 Воздушная плотность покрытия Результаты измерений, приведенные в литературе, были использованы при расчетах (<i>Kauppinen et al. 1999, Korpi et al. 2004</i>). Дома из Сипорекса(газобетона) и дома из бетонных блоков показывают хорошие показатели по воздухопроницаемости. Для них в расчетах была использована низкая воздухопроницаемость, инфильтрация воздуха составляла n₅₀ = 1.0 л/ч. Для бревенчатых домов при расчетах была использована высокая воздухопроницаемость, инфильтрация воздуха составляет n₅₀ = 10.0 л/ч. Немного лучше средних показателей были результаты, полученные для деревянных каркасных зданий, построенных из заводских элементов, n₅₀ = 3.0 л/ч, тогда как в деревянных домах, построенные самостроем, показатель несколько ниже среднего - n₅₀ = 5.0 л/ч. В соответствии с литературными данными, средние утечки воздуха в доме для одной семьи составляют n₅₀ = 4.0 л/ч.</p>
<p>3.7 Effective thermal capacity A theoretical thermal capacity based on standards is used in the calculations to describe the capacity of the structures to store heat. The house solutions are divided into three mass classes according to the RET calculation method. In masonry houses the effective thermal capacity is 40 Wh/(m³K), in the log house 30 Wh/(m³K) and in the wooden houses 20 Wh/(m³K). However, the concrete floor slab increases the thermal capacity significantly regardless of the wall construction. In masonry houses the partition wall blocks and the roof slab increase the thermal capacity.</p>	<p>3.7 Эффективная теплоемкость Теоретическое значение тепловой инерции базируется на стандартах, используемых в расчетах, для описания способности конструкции сохранять тепло. Исполнения зданий делятся на 3 класса в соответствии с методом расчетов RET. В домах с каменной кладкой эффективная теплоемкость составляет 40 Wh/(м³K), в бревенчатых домах - 30 Wh/(м³K), а в деревянных строениях - 20 Wh/(м³K). Таким образом, бетонные плиты перекрытия значительно увеличивают тепловую инерцию, независимо от конструкции стен. В домах с каменной кладкой стеновые блоки и кровельные плиты увеличивают тепловую инерцию.</p>
<p>3.8 Other input data and presumptions for energy calculations The other factors that influence energy consumption are the same in all the house solutions. All the houses have the same model house geometry. The indoor temperature is 21°C. The consumption of domestic water and the consumption of energy for water heating are the same in all the houses. The internal heat loads, i.e. the heat released from people, lighting and other electric equipment are also the same. The solar energy transmittance of the windows varied slightly between the different window types and had a varying influence on the heat loads transmitted into the houses from outside. Four people live in the house. The consumption of domestic water is 120 dm³ per day per person. Hot water accounts for 40% of the water consumption. The calculations of energy costs are based on the daytime/night time rates of EON Finland (Espoo) valid on 15 November 2004. The basic annual fee for electricity is EUR 83. The daytime energy rate is 9.12 c/kWh and the night time rate 6.00 c/kWh. The rates are total rates including taxes. The daytime rate is applied Mondays to Fridays between 07.00 and 20.00. The night time rate is applied outside these times.</p>	<p>3.8 Другая информация на которой основаны расчеты Остальные факторы, влияющие на энергопотребление, являются общими для домов любых конструкций. У всех домов одинаковая геометрия. Температура внутри дома составляет 21°C. Потребление воды и потребление энергии для нагрева воды одинаково для всех домов. Внутренние тепловые нагрузки, т.е. тепло, излучаемое людьми, осветительными приборами и другим электрооборудованием, так же одинаково во всех домах. Общий коэффициент пропускания солнечной энергии несколько варьируется между различными типами окон и оказывает влияние на тепловые нагрузки, передаваемые дому извне. В доме проживают 4 человека. Потребление воды составляет 120 литров в день на человека. Горячая вода составляет 40% потребления воды в целом. Расчеты стоимости энергии основаны на дневном/ночном тарифах EON Финляндии (Espoo), действующих на 15 ноября 2004 г. Базовая годовая плата за электричество составляет 83 евро. Дневной тариф составляет 9.12 центов/кВтч, а ночной - 6.00 центов/кВтч. Тарифы включают в себя все налоги. Дневной тариф действует с понедельника по пятницу с 07.00 до 20.00. Ночной тариф действует все остальное время.</p>

Table 1. Summary of initial data and results for various house solutions

Building volume	building m ³	466
Floor area	floor m ²	163
Heated area	m ²	142
Heating season	September – May	

Structural U values, W/(m ² K)	Lightweight aggregate block houses					Other house solutions			
	"Best" low energy house	Low energy house 1	Low energy house 2	Standard concrete block house	Standard concrete block house 2000	Siporex house	Log house	Wooden house, pre-fabricated elements	Wooden house, built on site
- external walls (130 m ²)	0.15	0.15	0.19	0.25	0.26	0.31	0.40	0.27	0.27
- ground floors sup-ported on ground 1) (153 m ²)	0.15	0.15	0.15	0.38	0.38	0.38	0.28	0.38	0.38
(including ground resistance)	(0.12)	(0.12)	(0.12)	(0.25)	(0.25)	(0.25)	(0.20)	(0.25)	(0.25)
- roof slabs (153 m ²)	0.08	0.08	0.08	0.16	0.16	0.12	0.10	0.16	0.16
- windows (18,7 m ²) N:36% E:5.4% S:45.4% W:13.2%	0.70	1.00	1.00	1.40	1.33	1.31	1.25	1.40	1.40
- entrance doors (7.9 m ²)	0.40	0.70	0.70	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Solar energy transmittance of windows (g value)	0.50	0.60	0.60	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Air tightness									
- n ₅₀ , 1/h	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10.00	3.00	5.00
- leakage air change, 1/h	0.025	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50	0.15	0.25
Thermal mass (REL/RET/D5)									
- mass class, kg/m ²	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	300-600	100-300	100-300
- effective thermal capacity, Wh/(m ³ K)	40	40	40	40	40	40	30	20	20
- effective thermal capacity, kJ/(floor m ² K)	412	412	412	412	412	412	309	206	206
- time constant, h	251	211	199	119	119	119	65	55	51
Ventilation heat recovery									
- exhaust air flow, m ³ /s	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
- annual efficiency, %	70	65	65	30	30	30	30	30	30
- specific fan power, kW/(m ³ /s)	1.6	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Heating energy consumption									
- space heating, kWh/a	4170	5489	6110	14558	14557	14558	20356	16340	17555
- max. heating effect, W	3497	4152	4396	7353	7352	7372	10038	8031	8587
- max.heating effect in room, W	2651	3165	3409	5379	5378	5398	8064	6057	6613
- max.heating effect in room, W/m ²	18,7	22.3	24.0	37.9	37.9	38.0	56.8	42.7	46.6
- heating of water, kWh/a	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661
Electric energy consumption									
- total consumption, kWh/a	6180	6310	6310	6570	6570	6570	6570	6570	6570
- household consumption, kWh/a	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530
- building services, kWh/a	1650	1780	1780	2040	2040	2040	2040	2040	2040

- 1) calculated at ground counter temperature, gravel ground
- 3) heat conductivities (W/mK) and U-values (W/m²K) for Siporex from various sources:
- 0.14 W/(mK) -> 0.35 W/(m²K) (Lindberg 1998)
 - 0.125 W/(mK) -> 0.31 W/(m²K) (National building code of Finland, part C4 2003)
 - 0.11 W/(mK) -> 0.28 W/(m²K) (<http://www.siporex.fi>)
- 4) the U-value of massive log wall (glued log 204 mm) is 0.53 W/(m²K) (0.12 W/(mK)), additional thermal insulation in some rooms -> 0.40 W/(m²K)
- 5) heat losses of additional studding included in the higher U-value

Таблица 1. Исходная информация и результаты по домам различных конструкций

Объем зданий м³ здание, м3 466
 Площадь этажа этаж м² 163
 Отапливаемая площадь м² 142
 Отопительный сезон сентябрь - май

Значение U, W/(м²К)	Дома из облегченных блоков					Другие исполнение			
	Дом с "лучшим" низким энергопотреб.	Дом с низким энергопотреб.		Дом из стандартных бетонных блоков	Дом из стандартных бетонных блоков 2000	Дома из газобетонных блоков	Дома из бревен	Каркасный дом заводского изготовления	Каркас. Дом «само-строй»
		Тип 1	Тип 2						
- внешние стены (130 м²)	0.15	0.15	0.19	0.25	0.26	0.31	0.40	0.27	0.27
- первые этажи, расположенные на земле 1) (153 м²)	0.15	0.15	0.15	0.38	0.38	0.38	0.28	0.38	0.38
(включая сопротивление земли)	(0.12)	(0.12)	(0.12)	(0.25)	(0.25)	(0.25)	(0.20)	(0.25)	(0.25)
- кровельные панели (153 м²)	0.08	0.08	0.08	0.16	0.16	0.12	0.10	0.16	0.16
- окна (18,7 м²) N:36% E:5.4% S:45.4% W:13.2%	0.70	1.00	1.00	1.40	1.33	1.31	1.25	1.40	1.40
- входные двери (7.9 м²)	0.40	0.70	0.70	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Общий коэффициент пропускания солнечной энергии	0.50	0.60	0.60	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Воздушная плотность									
- n ₅₀ , л/ч	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10.00	3.00	5.00
- обмен воздуха, л/ч	0.025	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50	0.15	0.25
Тепловая масса (REL/RET/D5)									
- масса класса, кг/м²	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	> 600	300-600	100-300	100-300
- эффективная теплоемкость, Wh/(м²К)	40	40	40	40	40	40	30	20	20
- эффективная теплоемкость, kJ/(этаж м² К)	412	412	412	412	412	412	309	206	206
- временная константа, ч	251	211	199	119	119	119	65	55	51
Вентиляция									
- поток отработанного воздуха, м³/с	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
- годовая эффективность, %	70	65	65	30	30	30	30	30	30
- вентиляторы, kW/(м³/с)	1.6	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Потребление тепловой энергии									
- обогрев пространства, kWh/a	4170	5489	6110	14558	14557	14558	20356	16340	17555
- максимальный обогрев комнаты, W	3497	4152	4396	7353	7352	7372	10038	8031	8587
- максимальный обогрев комнаты, W	2651	3165	3409	5379	5378	5398	8064	6057	6613
- максимальный обогрев комнаты, W/м²	18,7	22.3	24.0	37.9	37.9	38.0	56.8	42.7	46.6
- нагрев воды, kWh/a	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661	3661
Потребление электроэнергии									
- общее потребление, kWh/a	6180	6310	6310	6570	6570	6570	6570	6570	6570
- домашнее потребление, kWh/a	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530	4530
- строительные услуги, kWh/a	1650	1780	1780	2040	2040	2040	2040	2040	2040

1) рассчитано для температуры поверхности земли, гравий
 3) теплопроводность (W/мК) и значение U (W/м²К) для Сипорекса согласно различным источникам:

- 0.14 W/(мК) -> 0.35 W/(м²К) (Lindberg 1998)
- 0.125 W/(мК) -> 0.31 W/(м²К) (Национальный строительный кодекс Финляндии, часть С4 2003)
- 0.11 W/(мК) -> 0.28 W/(м²К) (<http://www.siporex.fi>)

4) значение показателя U стены из массива (проклеенные бревна 204 мм) составляет 0.53 W/(м²К) (0.12 W/(мК)),

дополнительная термоизоляция некоторых комнат -> 0.40 W/(м²К)

5) теплопотери дополнительных помещений включены в более высокий показатель значения U

4 Results

Figure 2 shows the annual heating consumption energy of the various house types. **In low energy concrete block houses the consumption is ca. 60% lower** than in the standard concrete block house that complies with the building code. Figure 3 shows the distribution of the heating energy consumption between heat losses through various building parts and through the ventilation system. External walls, ventilation and air leaks cause the greatest heat losses.

The heat capacity of the structures influences the consumption of heating energy, as well. If the effective heat capacity of the low energy concrete block house was the same as that of a **lightweight concrete block house** (floor slab also of lightweight concrete), the heating of the house would take **19% more energy** according to the calculations.

Figure 4 shows the total annual consumption of energy for each house solution.

4 Результаты

Рисунок 2 показывает годовое потребление энергии различными типами домов. **В домах из бетонных блоков с низким энергопотреблением потребление примерно на 60% меньше**, чем в домах из стандартных бетонных блоков, которые соответствуют строительному кодексу.

Рисунок 3 показывает распределение потребления тепловой энергии между типами теплопотерь в различных частях здания и вентиляционной системе. Внешние стены, вентиляция и утечки воздуха вызывают громадные теплопотери.

Тепловая инерция конструкций так же влияет на потребление тепловой энергии. Если бы эффективная теплоемкость зданий из бетонных блоков с низким энергопотреблением была такой же, как у **зданий из облегченных бетонных блоков** (плиты перекрытия так же изготовлены из облегченного бетона), то отопление здания требовало бы согласно расчетам на **19% больше энергии**.

Рисунок 4 показывает годовое энергопотребление для зданий различного исполнения.

Пояснения к таблицам

«Best» low energy house. Дом со стенами из трехслойных блоков с толщиной термовкладыша из вспененного пенополистирола (EPS) 200 мм (рис.1) + все возможные и экономически целесообразные инженерные системы, направленные на снижение энергопотребления.

Low energy concrete block house 1. Дом со стенами из трехслойных блоков с толщиной термовкладыша из вспененного пенополистирола (EPS) 200 мм (рис.1).

Low energy concrete block house 2. Дом со стенами из трехслойных блоков с толщиной термовкладыша из вспененного пенополистирола (EPS) 170 мм (рис.1).

Standard concrete block house. Дом со стенами из трехслойных блоков с толщиной термовкладыша из вспененного пенополистирола (EPS) 100 мм (рис.2).

Standard concrete block house 2000. Дом из крупноформатных многопустотных керамзитовых блоков толщиной 375 мм (рис. 3).

Siporex house. «Siporex» - торговая марка газобетонных изделий, производимых в Финляндии. Дом из газобетонных блоков толщиной 375 мм.

Log house. Бревенчатый дом. В данном случае рассматривается оцилиндрованное бревно диаметром 204 мм.

Wooden house, prefabricated elements. Каркасно-панельный дом с размерами панелей на стену, монтируемый обученными специалистами.

Wooden house, built on site. Каркасно-панельный дом из мелких панелей, собираемых вручную, как правило, силами застройщика.



Рис. 1



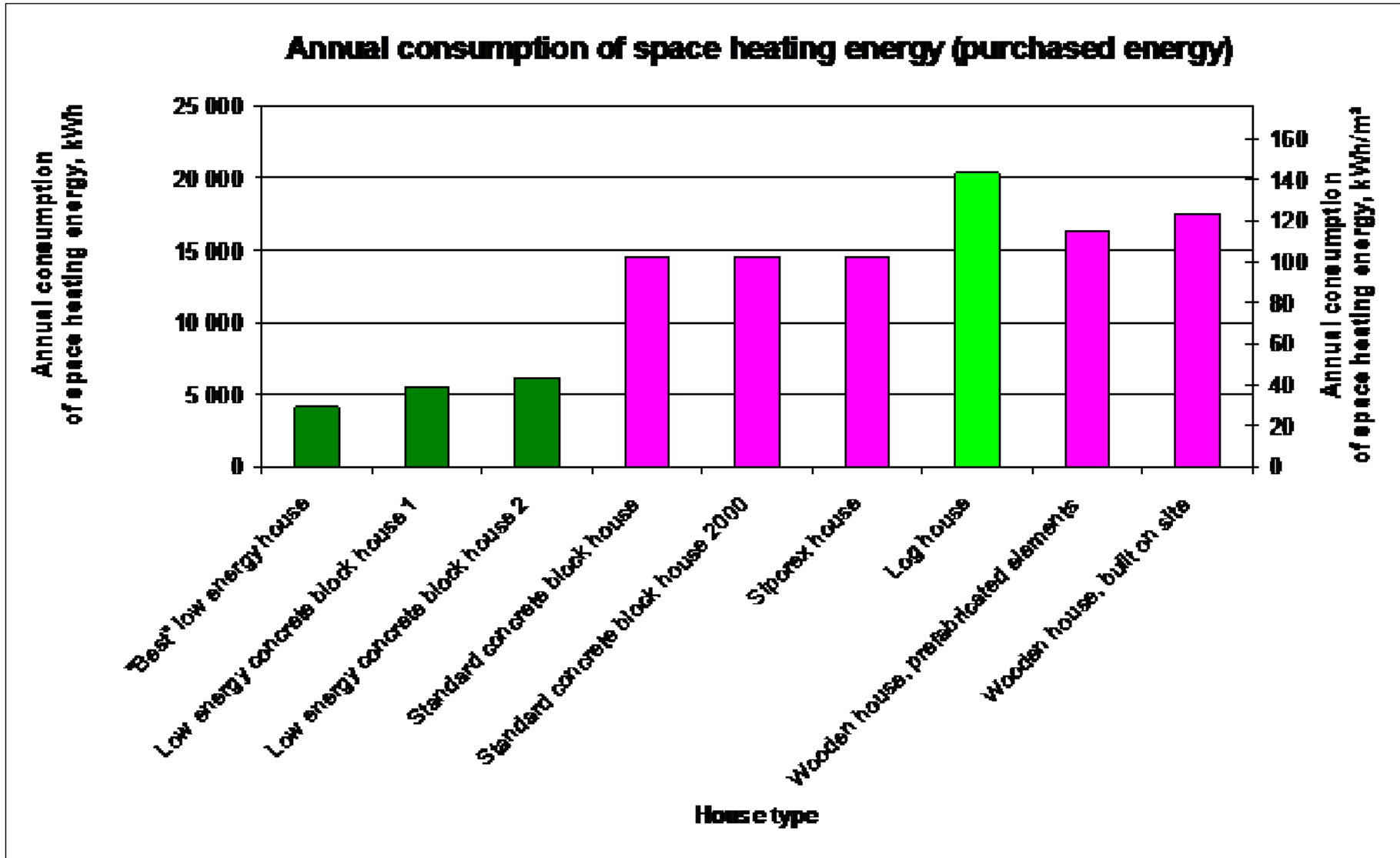
Рис. 2



Рис. 3

Годовое потребление энергии на обогрев

Годовое потребление энергии кВт ч



Удельное годовое потребление тепловой энергии кВт ч/м2

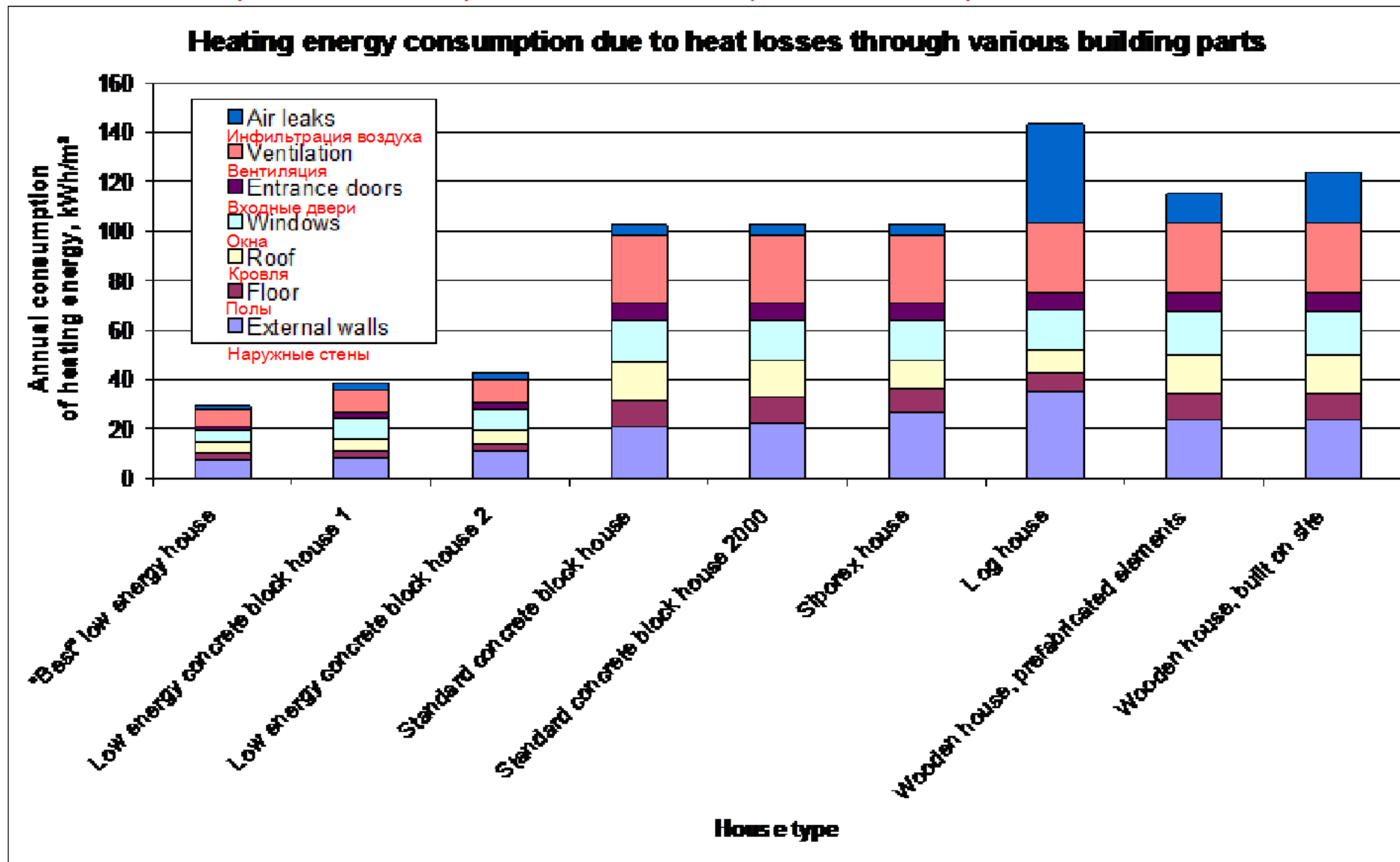
Тип дома

Figure 2. Calculated annual heating energy consumption of various house solutions

Рисунок 2. Расчетное годовое потребление тепловой энергии в домах разной конструкции

Затраты теплотенергию на компенсацию теплопотерь элементов здания

Годовое потребление тепловой энергии кВт ч/м2



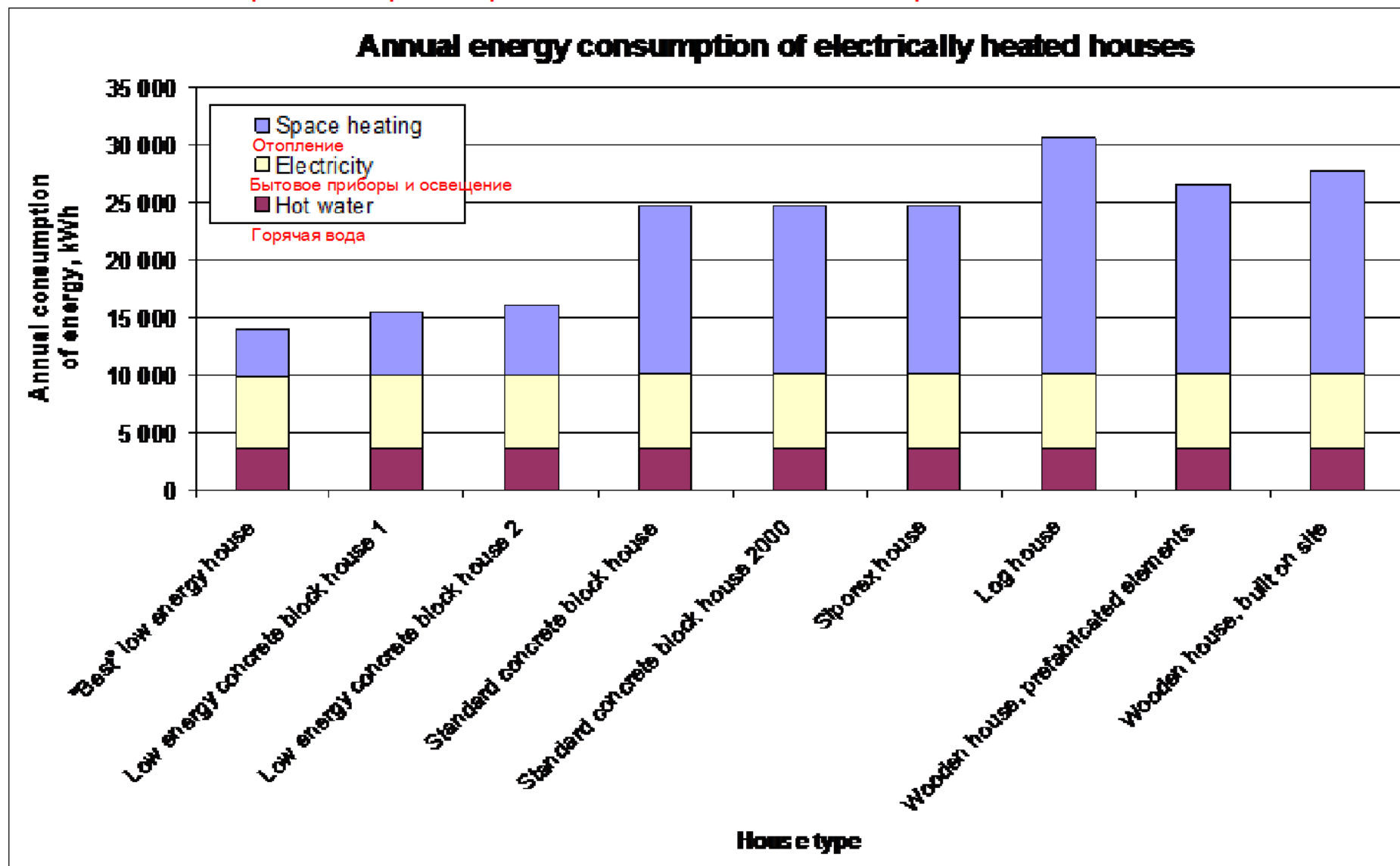
Тип дома

Figure 3. Consumption of purchased heating energy distributed between heat losses through various building parts and through the ventilation system

Рисунок 3. Потребление тепловой энергии, распределенное по видам теплопотерь различных элементов здания и системой вентиляции

Затраты энергопотребление в зданиях с электрическим отоплением

Годовое потребление энергии кВт ч



Тип дома

Figure 4. Calculated annual total energy consumption

Рисунок 4. Расчетное годовое общее энергопотребление

5 Summary

The purpose of the study was to analyse mathematically the consumption of energy over a period of 50 years for houses built using different techniques and different materials. The aim has been to include the influence of the heat insulation performance of the envelope, the air-tightness and the thermal capacity of the structures on the energy consumption in the calculations. Different low energy concrete block house solutions were compared with houses that comply with the existing building code. The frame structures of the external walls of the houses were made of lightweight aggregate concrete blocks, lightweight concrete and wood. The objective was to show the differences between the various solutions and to produce input data for technical and financial analyses.

The consumption is ca. 60% lower in low energy concrete block houses than in the standard concrete block houses built in compliance with the national building code. External walls, ventilation and air leaks cause the greatest heat losses. The heating of a low energy concrete block house consumes 30 – 40 kWh of energy per one square-metre per year, depending on the solution model. The heat consumption of a wooden single-family house is 10 – 20% higher and the consumption of a log house 40% higher than the consumption of a concrete block house that complies with the building code. The difference is caused by the better air-tightness of the concrete block house.

The heat capacity of the structures influences the consumption of heating energy, as well. If the effective heat capacity of the low energy concrete block house was the same as that of a **lightweight concrete house** (floor slab also of lightweight concrete), the heating of the house would take **19% more energy** according to the calculations.

The annual heating costs of low energy concrete block houses equipped with electric heating amount to ca. EUR 350 per year, or **just EUR 30 per month**. In a low energy concrete block house, **the energy bill over a period of 50 years is EUR 75000 – 130000 smaller** than in the reference standard concrete block house, if the price of energy increases at a rate of 3% per year.

5 Заключение

Целью исследования было проведение математического анализа энергопотребления за период 50 лет для зданий, построенных с использованием различных технологий и различных материалов. Задачей было включить в расчеты влияние теплоизоляционных характеристик оболочки зданий, воздухопроницаемости и тепловой инерции конструкций на энергопотребление. Различные исполнения зданий из бетонных блоков с низким энергопотреблением сравнивались со зданиями, которые были построены в соответствии с существующим строительным кодексом. Рассматривалась конструкция наружных стен дома из трехслойных керамзитобетонных блоков, керамзитобетонных блоков с утеплением, газобетона и дерева (бревенчатые и каркасные). Целью исследования было показать различия между несколькими конструкциями и получить данные для технического и финансового анализа.

Потребление примерно на 60% ниже в домах из бетонных блоков с низким энергопотреблением по сравнению с домами из стандартных трехслойных бетонных блоков, построенных в соответствии с национальным строительным кодексом. Внешние стены, вентиляция и инфильтрация воздуха вызывают громадные теплопотери. Отопление строений из бетонных блоков с низким энергопотреблением требует 30 – 40 кВт на квадратный метр в год, в зависимости от исполнения. Потребление тепла деревянным строением на одну семью на 10 – 20% больше, а бревенчатым домом на 40% больше, чем потребление тепла домом из бетонных блоков, соответствующего требованиям строительного кодекса. Разница объясняется более низкой воздухопроницаемостью стен из бетонных блоков.

Тепловая инерция конструкции так же влияет и на уровень потребления энергии на отопления. Если бы тепловая инерция стен из бетонных блоков с низким уровнем энергопотребления была такой же, как у **домов из газобетона** (панели перекрытия так же выполнены из газобетона), на обогрев дома требовалось бы в соответствии с расчетами на **19% энергии больше**.

Годовая стоимость отопления домов из бетонных блоков с низким уровнем энергопотребления, оборудованных электрической отопительной системой, составляет около 350 евро в год, или **всего 30 евро в месяц**. В домах из бетонных блоков с низким уровнем энергопотребления **счет за электричество за период в 50 лет составляет на 75000 – 130000 евро меньше**, чем в домах из стандартных бетонных блоков, при условии, что цена на электроэнергию повышается на 3% в год.

References (Ссылки)

Laine, J. & Saari, M. 2005. Low energy concrete block house - Comparison calculations on energy consumption of single-family houses [Matalaenergiահarkkotalo - Pientalojen energiankulutuksen vertailulaskelma]. Orderer: Suomen Betonitieto Oy. VTT Building and Transport. Espoo. 22 p. + app. 18 p. (Research Report nro RTE627/05) [in Finnish] (<http://www.kevytsoraharkko.fi>)

Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. 7 p.

Shemeikka, J. & Laitinen, A. 2005. Specification of RET-single family house [RET-pientalon määrittely]. Version 1.8 (10.2.2005). VTT Building and Transport. Espoo. 24 p. (Working paper in Finnish) EN 832:1998. Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for heating. Residential buildings. 46 p.

National building code of Finland, parts C3, C4, D2, D3 and D5. Ministry of the Environment, Housing and Building Department. Helsinki.

Kauppinen, T. & Rantamäki, J. 1999. Measured air tightness of Finnish single-family houses [Suomalaisten pientalojen ilmanpitävyys mittauksen perusteella]. In: Säteri, J. & Hahkala, H. (ed.) Seminar on indoor air quality and climate 17. - 18.3.1999. Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate and Helsinki University of Technology. Espoo. P. 329 - 334. (SIY report 13). ISBN 952-5236-03-X [in Finnish]

Korpi, M., Vinha, J., Valovirta, I. & Kurnitski, J. 2004. Air tightness of wooden single-family houses [Puurunkoisten pientalojen ilmatiiviyys]. In: Säteri, J. & Backman, H. (ed.) Seminar on indoor air quality and climate 17. - 18.3.2004. Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate and Helsinki University of Technology. Espoo. P. 91 - 96. (SIY report 22). ISBN 952-5236-27-7 [in Finnish]

Lindberg, R., Keränen, H. & Teikari, M. 1998. Effect of external wall structure on energy consumption [Ulkoseinän vaikutus rakennuksen energiankulutukseen]. Tampere University of Technology. Tampere. 33 p. + app. 25 p. ISBN 952-15-0092-1 [in Finnish]

Laine, J. & Saari, M. 1998. ESPI Low Energy Houses [ESPI-matalaenergiapientalot]. VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo. 76 p. + app. 44 p. (VTT Research Notes 1924). ISBN 951-38-5332-2 (<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1924.pdf>) [in Finnish, English abstract]