

УЙМА А., ЛИС А.

МОНИТОРИНГ РЕЗУЛЬТАТОВ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИИ ШКОЛЫ

В статье представлены возможности повышения энергоэффективности типового здания школы в сельской местности. Мероприятия по модернизации самого здания и внутренних коммуникации в этом здании включали широкий спектр улучшений. В статье представлены реальные результаты термомодернизации на основе мониторинга его последствий в здании школы, учитывая период с 2011 по 2015 годы. Результаты могут быть характерны для данного типа зданий. Анализ включал в себя потребление энергии на нужды отопления, вентиляции и подогрев горячей воды и потребление электроэнергии в здании. Мониторинг результатов проведённой термомодернизации показал значительный эффект снижения энергопотребления, тем самым, расхода топлива и расходов на эксплуатацию здания и указал на ряд выгод от данного вида деятельности.

Ключевые слова: комплексная термомодернизация, потребление энергии, энергосбережение

Введение

Одним из способов повышения энергетической эффективности существующих зданий является проведение в них комплексной термомодернизации. Через комплексную термомодернизацию надо понимать проведение всякого рода мероприятий, которые представляют потенциальные возможности уменьшения расходования энергии. Оказывается что здания эксплуатируемые в Польше, как жилые, так и общественные, характеризуются большим потенциалом энергоэффективности. Анализ эффектов термомодернизации стандартного здания показывает что в соответствии с действующими правилами можно уменьшить в нем расход энергии до 40%. Наибольшие возможности в повышении энергетической и экологической эффективности даёт уменьшение потребления тепла, природного газа, угля или другого топлива, электроэнергии и воды. В настоящее время энергоэффективность является одной из главных проблем широко обсуждаемых в стратегических документах, указывающих на одно из главных направлений развития государств-членов Европейского Союза. Стимулом для этих действий стало истощение природных энергетических ресурсов, зависимость от импорта и увеличение цен на топливо, а также высокий уровень загрязнения окружающей среды продуктами сгорания. Последний эффект на столько влияет на изменение климата Земли, что становится всё более значимым.

Загрязнение воздуха продуктами сгорания топлива при выработке энергии в Польше является основополагающим фактором повышения энергоэффективности народного хозяйства.

В Польше мероприятия по термомодернизации зданий проводятся уже более тридцати лет. В начале они были в основном направлены на обновление и устранение дефектов в зданиях, построенных в панельной технологии. После введения в действие Закона о поддержке термомодернизационных мероприятий, появились новые возможности для выполнения такого рода операций на системной основе, с некоторой финансовой поддержкой. Главным документом указывающим на целесообразность проведения термомодернизации является энергетический аудит. Это своего рода техно-экономический анализа инвестиции, в котором решающим критерием проведения термомодернизации является получение отдачи вложенных средств в результате финансовых эффектов от экономии энергии. Этот документ является своего рода нормативно-правовой основой для проведения комплексной термомодернизации.

Анализ реальных последствий термомодернизации проводится сравнительно редко. Должен быть выполнен на основе мониторинга расходования энергии и топлива на отопление, вентиляцию и подогрев горячей воды и расход электроэнергии.

Для анализа было выбрано здание школы с техническими характеристиками похожими на другие того типа объекты эксплуатируемые в Польше. В здании проводилась комплексная термомодернизация в 2010 году, а полученные результаты этой инвестиции включены были в мониторинг, в период с 2011 по 2015 год.

По оценке специалистов процесс реализации и эксплуатации зданий в Европейском Союзе сопровождается выбросом ок. 36% всех выбросов парниковых газов в атмосферу [1]. Кроме этого атмосферу европейских стран, особенно в восточной части континента, загрязняют выбросы из небольших зданий и котельни. В Польше тоже наблюдается такая ситуация, так называемая "низкая эмиссия" или "поверхностная эмиссия", связанная с выбросами при выработке тепла для небольших зданий, главным образом жилых [2, 3].

1. Потребление энергии в Польше и Евросоюзе

Добыча первичных энергоносителей снизилась в Польше в 2014 году и составила 2853,8 ПДж. Потребление первичной энергии было выше, чем производство и составило 4320,5 ПДж в 2014 году [4]. Жилой фонд Европейского Союза насчитывает около 200 миллионов зданий, из которых 6 миллионов находится в Польше. На энергию, используемую в жилых зданиях приходится значительная доля общего потребления энергии в стране. Этот процент существенно зависит от степени электрификации, уровня урбанизации, величины жилой площади приходящей на душу населения, преобладающего климата, а также национальных и местных стратегий направленных на повышение энергоэффективности. Реализация и эксплуатация зданий, в среднем, в Евросоюзе в период 2009-2013 составила около 42% от общего потребления энергии. В Польше, это значение выше на ок. 7% [4, 5, 6]. Величина энергии потребляемая зданиями больше чем транспортными средствами и в промышленности. Здания отвечают также за использование около 25% мировой воды из водопроводов.

Потребление энергии в зданиях разделяется на системы: отопления, вентиляции, охлаждения, горячего водоснабжения, электроосвещения и электрооборудования. Структура потребления энергии в период 2009-2012 годов в жилых зданиях, в Польше, указана на рис. 1.

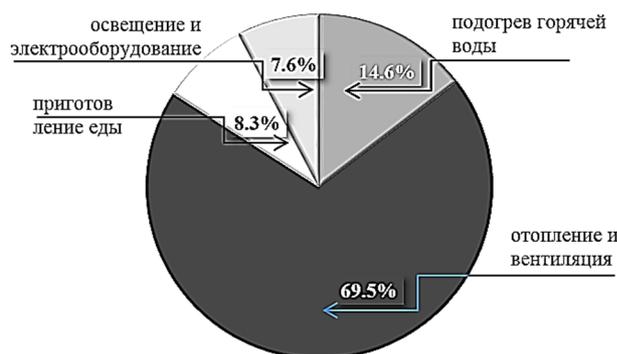


Рисунок 1 – Доли потребления энергии в жилых зданиях в Польше, в период 2006-2012 [7, 8]

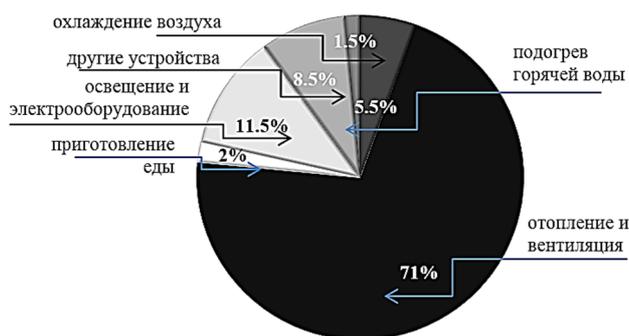


Рисунок 2 – Доли потребления энергии в общественных зданиях в Польше, в период 2006-2012 [7, 8]

В общественных зданиях имеются немного другая структура потребления энергии (рис. 2). Появляется потребление энергии на нужды охлаждения воздуха, а потребление энергии для горячей воды значительно понижается.

В среднем, в Евросоюзе доля потребления энергии на отопление и вентиляцию значительно ниже, чем в Польше, особенно в общественных зданиях, но они потребляют больше энергии для подогрева горячей воды (рис. 3 и 4).

Структура потребления энергоносителей в Польше существенно не изменилась за последние годы. Снизилась в Польше добыча каменного угля, бурого угля, нефти, природного газа и других энергоносителей. Главным энергоносителем остаётся каменный уголь, доля использования которого составила в 2014 году, во всей экономике страны, ок. 40.4%. Доля нефти составила 23,8%, доля природного газа 14,1%, а бурого угля 12,0% от общего потребления энергоносителей [4].

Начиная с 2021 года все вновь возводимые здания должны характеризоваться очень низким потреблением энергии, при чем в основном происходящей из возобновляемых источников энергии. Стратегия развития возобновляемых источников энергии в Польше и Европейском Союзе предполагает увеличение доли возобновляемых источников энергии, в конечном итоге в среднем до 20% по всему ЕС. В связи с этим необходимо продвижение и реализация экологиче-

ски безопасных технологий, основанных на возобновляемых энергетических ресурсах и расширения сферы применения этих энергетических ресурсов. В Польше доля возобновляемых источников энергии в валовой продукции энергии постепенно увеличивается и в потреблении всей энергии в 2014 году составила 11,4% [11, 12].

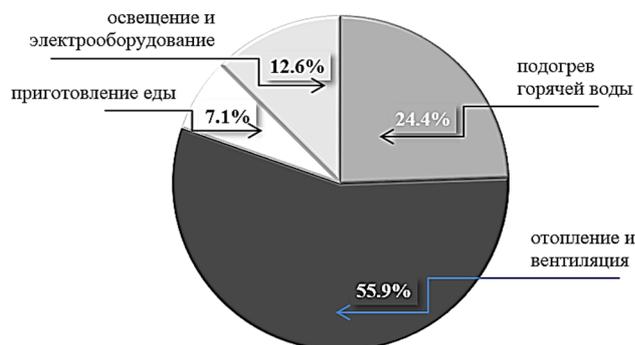


Рисунок 3 – Доли потребления энергии в жилых зданиях в Евросоюзе, в период 2006-2012 [9, 10]

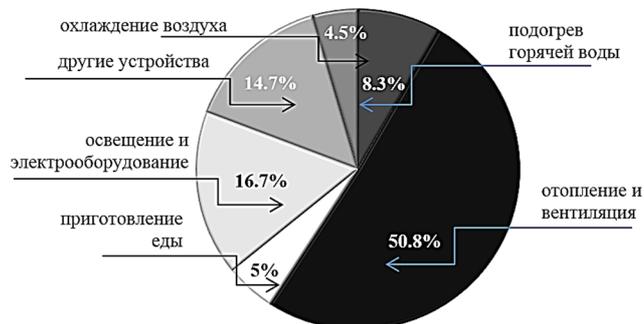


Рисунок 4 – Доли потребления энергии в общественных зданиях в Евросоюзе, в период 2006-2012 [9, 10]

2. Комплексная термомодернизация здания школы

Здание школы было построено в 1964 году, при использовании традиционных строительных технологии. Отсутствие теплоизоляции во внешних преградах, привело к тому, что здание не соответствовало нынешним строительным требованиям по тепловой защите и рациональному расходованию энергии. Следовательно привело это к значительным потерям энергии и высоким эксплуатационным расходам. Здание школы до момента осуществления термомодернизации показано на рисунке 5.

В 2010 году была проведена комплексная термомодернизация здания, на основе выводов и в соответствии с рекомендациями вытекающими из энергоаудита. Главные модернизационные мероприятия относились к теплоизоляции внешних преград и замены некоторого оборудования и коммуникаций здания. Здание школы после термомодернизации показано на рисунке 6.

Мероприятия были направлены на повышение эффективности использования энергии на отопление и подогрев горячей воды. Перечень модернизационных мероприятий основан был также из научно-исследовательском опыте. Главные цели заключались в необходимости повышения энергоэффективности здания и его технических систем, снижении негативного воздействия на окружающую среду и улучшению внутреннего микроклимата. В последствии проведён был мониторинг термомодернизации, начиная с 2011 года.



Рисунок 5 – Общий вид школы до термомодернизации в 2006г.



Рисунок 6 – Общий вид школы после термомодернизации в 2011г.

Изменение коэффициентов теплопередачи внешних преград здания школы приведено в таблице 1. Без изменений оставлен был коэффициент теплопередачи для пола на грунте, который нецелесообразно было модернизировать из за технических и экономических предпосылок.

Таблица 1 – Коэффициенты теплопередачи внешних преград здания школы до и после термомодернизации и требуемые уровни этих параметров

Конструкция	Коэффициент U_c , Вт/(м ² К)		Коэффициент U_{cmax} , Вт/(м ² К)	
	до	после	2010	2016
Внешняя стена	1.40	0.22	0.30	0.25
Внешнее перекрытие	0.68	0.16	0.25	0.20
Пол на грунте	0.63	0.63	0.45	0.30
Деревянные окна	3.00	1.40	1.80	1.30
Пластиковые окна	2.60	1.40	1.80	1.30
Внешние двери	3.50	2.50	2.60	1.70

Принятая на основе оптимализации в энергетическом аудите конструкция утепления внешних стен и перекрытий позволяет им соответствовать современным требованиям по теплоизоляции. Коэффициенты теплопередачи этих преград соответствуют допустимым уровням этих параметров, а для окон незначительно превышают эти значения. Утепление перегородок и замена окон и дверей вызвало значительное уменьшение потерь тепла.

Замена на основе энергоаудита котла работающего на каменном угле на новый газовый котёл и модернизация системы подогрева горячей воды позволила значительно повысить энергоэффективность системы отопления и снабжения горячей водой (табл. 2).

Таблица 2 – Эффективность систем отопления и снабжения горячей водой до и после термомодернизации здания школы

Эффективность составляющих компонентов системы поставляющей тепло	система отопления		система снабжения горячей водой	
	до	после	до	после
- выработки тепла	0.65	1.00	0.97	1.00
- передачи тепла	0.90	0.98	0.85	0.96
- аккумуляции тепла	0.93	0.97	0.67	0.86
- регуляции и использо-вания тепла	0.85	0.98	1.00	1.00
- полная системы	0.46	0.93	0.55	0.83

Главные энергетические показатели здания школы до и после термомодернизации, определены на основе энергетического аудита представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение энергетических показателей здания школы до и после термомодернизации

Энергетические показатели	до	после
	кВт ч/(м ² год)	
- полезной энергии EU	285.7	142.4
- конечной EK	526.0	149.4
- первичной не возобновляемых источников энергии EP	578.6	164.3

Показатель EK является индикатором спроса на конечную энергию и EU индикатором энергии использованной для эксплуатационных нужд. По данным национального законодательства в области энергосбережения [10] максимальное допустимое значение показателя EP определяет годовой спрос на невозобновляемую энергию на обеспечение энергией системы: отопления, вентиляции, горячей водой, охлаждения и освещения. Показатель EP рассчитывается по следующей формуле:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L$$

где EP_{H+W} – максимальное значение частных показателей EP на обеспечение энергией системы отопления, вентиляции и подготовки горячей воды, кВт ч/(м² год);

ΔEP_C – максимальное значение парциального показатель EP для системы охлаждения, кВт ч/(м² год);

ΔEP_L – максимальное значение парциального показатель EP для системы освещения (только для общественных и производственных зданий), кВт ч/(м² год).

Величины частичных, допустимых, максимальных на сегодняшний день значений показателя EP для учебных заведений с системами: отопления, вентиляции, горячей воды, охлаждения воздуха и освещения, представлены в таблице 4.

В анализируемом здании школы нет системы охлаждения воздуха, поэтому $\Delta EP_C = 0$ кВт ч/(м² год). Длительность освещения в течение года для школьных зданий составляет 2000 ч/год, поэтому $\Delta EP_L = 50$ кВт ч/(м² год). Максимальное значение показателя EP для исследуемых школьных зданий составляет 115 кВт ч/(м² год)

Несмотря на значительное сокращение потребления конечной энергии, показатель EP , полученный в 2010 году слишком высокий и не соответствует современным строительным требованиям. Поэтому целесообразно было бы найти решение с применением использования возобновляемых источников, для частичного обеспечения здания этой энергией.

Таблица 4 – Частичные максимальные значения показателя EP для учебных зданий с системой отопления, вентиляции, горячей воды, охлаждения воздуха и освещения [13]

Частичные максимальные значения показателя EP :		кВт ч/(м ² год)
- для система отопления, вентиляции и горячей воды	E_{PH+W}	65
- для системы охлаждения	ΔEP_C	$25 \cdot A_{f,c}/A_f$
- для системы освещения	ΔEP_L	для $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ для $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$

Примечание:

$A_{f,c}$ – полезная охлаждаемая площадь здания, м²;

A_f – обогреваемая площадь здания, м²;

t_0 – продолжительность включения освещения за год, ч/год.

3. Энергосбережение в результате проведенной термомодернизации

После комплексной термомодернизации в здание школы наблюдаются и анализируются различного рода эффекты. Основные преимущества комплексной термомодернизации связаны с высокой экономической эффективностью, т. е. значительным снижением теплотребления в результате снижения потребления топлива. В исследованиях принято было провести наблюдения потребления (каменного угля, природного газа, воды и электроэнергии). В связи с этим оценивались расходы по разным источникам энергии. Год 2010, когда выполнена была термомодернизация здания, был переходным годом, и поэтому не учитывался при расчёте средней эффективности термомодернизации.

Мониторинг результатов проведенной термомодернизации показал значительное снижение потребления энергии на отопление, вентиляцию и подогрев горячей воды (рис. 7).

До проведения термомодернизации среднее потребление энергии составляло ок. 1000 ГДж/год, а после её проведения снизилось до ок. 420 ГДж/год. Средний энергетический эффект составил ок. 58%. Снижение конечного потребления энергии в анализируемом периоде связано было в значительной степени с совершенствованием системы отопления и подогрева горячей воды.

После термомодернизации цена за 1 ГДж энергии увеличилась в связи с заменой топлива из каменного угля на природный газ. Но так как значительно уменьшились энергозатраты, стоимость энергии отнесённая к единице эксплуатируемой площади здания уменьшилась. Она оказалась близка уровню себестоимости энергии с 2008-2009 годов. Выполнение термомодернизации с заменой топлива на более дорогое помогло нейтрализовать повышение цен на природный газ, который произошёл в период с 2011 по 2015 год. Стоимость энергии отнесённая к единице площади здания до и после тепловой модернизации представлен на рисунке 8.

Уменьшение стоимости единицы тепла за отопление и подогрев горячей воды является не столь значительным, как снижение потребления энергии, что связано с увеличением цены за 1 м³ природного газа, с 1,15 до 3,23 пол. злотых, в анализируемом периоде времени.

Использование электроэнергии снизилось в здании, но оказалось не так ощутимым как снижение затрат на тепло. Расходование электроэнергии в здании школы до и после термомодернизации представлено на рисунке 9.

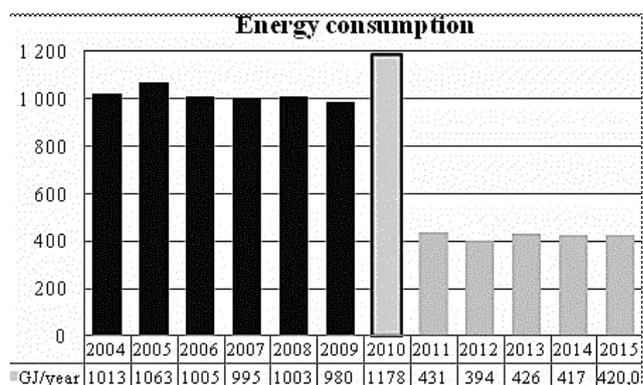


Рисунок 7 – Общее расходование энергии в ГДж/год, до и после термомодернизации здания

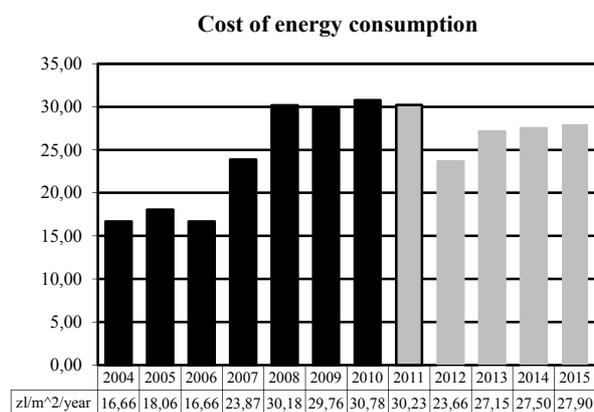


Рисунок 8 – Стоимость энергии в пол.зл./м² единице площади здания до и после тепловой модернизации

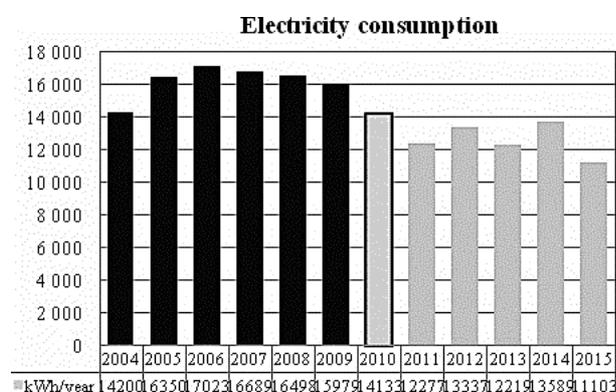


Рисунок 9 – Расходование электроэнергии в кВт ч/год, в здании школы до и после термомодернизации

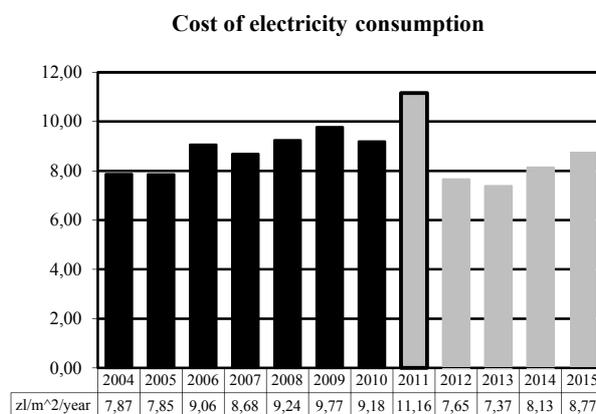


Рисунок 10 – Стоимость электроэнергии, в пол.зл./м² эксплуатируемой площади здания, до и после термомодернизации

До термомодернизации среднее потребление электроэнергии в исследуемом объекте составляло ок. 16 100 кВт/ч в год, а после термомодернизации снизилось до 12 500 кВт/ч в год. Что дало около 35% эффект снижения годового потребления электроэнергии. Снижение потребления электроэнергии связано с тем, что перед модернизацией около 45% горячей воды было подготовлено с использованием электронагревателей. Увеличение потребления электроэнергии в 2011 году было вызвано проведением модернизационных работ.

В 2012 году достигнут был около 17% эффект снижения годовой оплаты за электроэнергию. Стоимость электроэнергии отнесённая на 1 м² эксплуатируемой площади здания указана на рисунке 10.

Надо отметить, что в период 2004-2015 годов также отмечено было повышение цен на электроэнергию. Средняя цена за электричество в анализируемом здании увеличилась с 0,46 пол.зл/кВт ч, до 0,78 пол.зл/кВт ч.

Выводы

Повышение эффективности использования энергии является главной задачей поставленной в стратегических документах, определяющих направление развития Европейского Союза. Одним из элементов, определенных в стратегии Европейского Союза является повышение энергоэффективности на 20% до 2020 года. Общее потребление энергии в период реализации и эксплуатации зданий в Евросоюзе составляет почти 40% от общего потребления энергии. Около 70% энергии, потребляется на нужды отопления и приготовления горячей воды. Директивы Ев-

ропейского Союза рекомендуют, в частности, обращают внимание на необходимость учёта при разработке национальных долгосрочных стратегий, разного рода, в том числе и финансовой, поддержки инвестиций связанных с модернизацией зданий. Надо применять методы поиска оптимальных путей решения задач по повышению энергоэффективности зданий и развивать инструменты привлечения для них инвесторов.

В последнее десятилетие Польша добилась большого прогресса в области охраны окружающей среды, в том числе охраны воздуха. Эти эффекты могли быть получены также за счёт термомодернизационных мероприятий проводимых в строительной отрасли. Однако для реализации принципов устойчивого экономического развития и повышение эффективности использования энергии и материальных ресурсов, необходимо проводить и развивать стратегии повышения энергоэффективности в разных областях экономики страны. Энергетическая эффективность польской экономики примерно в три раза ниже, чем в большинстве развитых европейских стран, и примерно в два раза ниже, чем в среднем в ЕС. Кроме того, потребление первичной энергии в Польше, почти на 40% ниже, чем в большинстве развитых европейских стран, что указывает на большой потенциал по энергосбережению в Польше.

Одним из способов повышения энергоэффективности зданий и снижения воздействия на окружающую среду зданий являются разного типа мероприятия, связанные с термомодернизацией зданий. Оценивается, что за счёт термомодернизации традиционного здания можно сэкономить до 40% энергии. Термомодернизационные мероприятия в Польше проводятся уже более тридцати лет. Системным способом на основе комплексного подхода и поиска оптимальных экономических результатов более двадцати пяти лет.

В статье представлены возможности повышения энергоэффективности стандартного здания школы. Мероприятия по термомодернизации в этом здании включают широкий спектр совершенствования расходования и управления энергией общественного здания. Мониторинг результатов проведенной термомодернизации показал ряд преимуществ, данного способа подхода к энергетике здания:

1. правильно проверенная тепловая модернизация способствует улучшению энергетических характеристик здания,
2. комплексный подход к термомодернизации здания приносит максимальный эффект и минимальные сроки отдачи вложенных средств,
3. средний реальный эффект снижения потребления тепла в модернизированном здании школы составил ок. 58%,
4. снижение потребления электроэнергии составило примерно 35%,
5. колебания в потреблении энергии в течение анализируемого периода были частично связаны с изменением климатических и эксплуатационных условий,
6. снижение годовой оплаты за электричество составило ок. 17%,
7. снижению затрат на потребление энергии не столь значительным, как снижение потребления самой энергии, что связано с повышением цены на энергию,
8. в связи с изменением цен на топливо, воду и электричество не всегда удаётся достичь экономических результатов рассчитанных в энергоаудите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guła A. i in., Strategia modernizacji budynków. Mapa drogowa 2050. Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, 111 s.
2. Raport z realizacji polityki ekologicznej państwa w latach 2009-2012, Fundeko, Warszawa 2013, 272 s.
3. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, Informacja o wynikach kontroli, NIK, Warszawa 2014, 121 s.
4. Energy Statistics, Statistical Information and Elaborations. Central Statistical Office, Warsaw 2015
5. EU Transport in Figures Statistical Pocketbook, Publications Office of the European Union Luxembourg, 2011-2015
6. Statistical Yearbook of the Republic of Poland, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2015
7. Energy consumption in households in 2012, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2014
8. Energy efficiency, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2016
9. European Commission, Energy, <https://ec.europa.eu/energy/>
10. Data hub for the energy performance of buildings, www.buildingsdata.eu
11. Energy, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2016
12. Energy from renewable sources, Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2015

13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 ze zmianami (Dz.U. 2013 poz. 926)

Уйма Адам

Ченстоховский университет технологии, г. Ченстохова, Польша
Д.т.н., кафедра организации строительства и технологии, кафедра строительной физики
E-mail: aujma@bud.pcz.czest.pl

Лис Анна

Ченстоховский университет технологии, г. Ченстохова, Польша
Д.т.н., кафедра организации строительства и технологии, кафедра строительной физики
E-mail: annalis29@wp.pl

A. UJMA, A. LIS

MONITORING THE RESULTS OF REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN THE SCHOOL BUILDING

The article presents the improving the energy efficiency of the chosen school building. Thermal modernization activities conducted in this building included a wide scope of improvements. The article presents the real results of the thermal modernization activity based on the monitoring of their effects conducted in selected educational building from 2011 to 2015 which was a representative of the evaluated group of buildings. The analysis includes energy consumption for heating, ventilation and domestic hot water preparation and electricity consumption in chosen building. The monitoring of the results from conducted thermal modernization showed significant energy reduction effect and therefore also fuel consumption and exploitation costs of this building and pointed out a number of benefits resulting from this type of activity.

Keywords: complex thermomodernization, energy consumption, energy saving

BIBLIOGRAPHY

1. Guła A. i in., Strategia modernizacji budynków. Mapa drogowa 2050. Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, 111 s.
2. Raport z realizacji polityki ekologicznej państwa w latach 2009-2012, Fundeko, Warszawa 2013, 272 s.
3. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, Informacja o wynikach kontroli, NIK, Warszawa 2014, 121 s.
4. Energy Statistics, Statistical Information and Elaborations. Central Statistical Office, Warsaw 2015
5. EU Transport in Figures Statistical Pocketbook, Publications Office of the European Union Luxembourg, 2011-2015
6. Statistical Yearbook of the Republic of Poland, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2015
7. Energy consumption in households in 2012, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2014
8. Energy efficiency, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2016
9. European Commission, Energy, <https://ec.europa.eu/energy/>
10. Data hub for the energy performance of buildings, www.buildingsdata.eu
11. Energy, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2016
12. Energy from renewable sources, Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2015
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 ze zmianami (Dz.U. 2013 poz. 926)

Ujma Adam

Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland
PhD (eng.), Department of construction organization and technology, Department of Building Physics
E-mail: aujma@bud.pcz.czest.pl

Lis Anna

Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland
PhD (eng.), Department of construction organization and technology, Department of Building Physics
E-mail: annalis29@wp.pl