

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF BIOMASS BOILERS FOR HEATING PURPOSES IN THE RESIDENTIAL BUILDING

Summary

In this article a technical and economic analysis was performed concerning the use of different types of boilers for combustion of biomass such as straw boiler, boiler for burning wood chips and boiler with a burner for oats. Technical analysis of the boiler covered: power selection, estimation of the seasonal demand for final energy for exemplary residential building. Calculated final energy consumption helped to determine the area of cereal crops whose straw and oats will be used as well as the surface of Miscanthus and rose multiflorum. Economic analysis based on life cycle cost method allowed to choose the heat source, which will be the most efficient in economic terms in assumed period of operation. The use of the boiler for combustion of straw will be the best solution. It is characterized by the lowest costs in the case of burning straw bales as well as the use of Miscanthus. The use of boiler burning wood chips combustion generates a cost comparable to Miscanthus. The use of boiler combustion grain oats, which would be specially manufactured for use for energy purposes is not economically justified. Heating costs in this case are 3.5 times higher in comparison with straw burning boiler and double in the case of using the combustion boiler chips. Assuming energy plantations depending on the species, there may be two types of heat source, i.e. boiler burning bales of Miscanthus or automatic set to burn wood chips of rose multiflorum.

Keywords: energy crops, building heating, biomass boilers, the cost of heating

ТЕХНИЧЕСКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОТЛОВ НА БИОМАССУ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Изложение

Изготовлен технико-экономический анализ использования разных типов котлов для сжигания биомассы, таких как соломы, котел для сжигания дробленки и котел с форсункой для сжигания овса. Технический анализ охватывал подбор мощности котла, оценку сезонного запроса на конечную энергию для образцового жилого дома. Подсчитанное израсходование конечной энергии помогло определению площади выращивания зерновых растений, из которых будет использоваться солома и зерно овса, а также площадь Miscanthus giganteus и Rosa multiflora. Экономический анализ ссылающийся на метод издержек цикла жизни позволил выбрать источники тепла, которые в определенный период эксплуатации будут самыми эффективными в экономическом отношении. Самым лучшим решением будет применение котла для сжигания соломы. Он характеризуется самыми низкими расходами в случае сжигания кубиков спрессованной соломы, а также применения Miscanthus giganteus. Применение котла сжигающего зерно овса, которое производилось бы специально с назначением на энергетические цели является экономически необосновано. Издержки на отопление в этом случае 3,5 раза выше в сравнении с котлом сжигающим солому и два раза выше в случае применения котла сжигающего дробленку. Устанавливая плантацию энергетических растений в зависимости от вида, можно применить два типа источников тепла т.е. котел сжигающий кубики спрессованного Miscanthus giganteus или автоматический набор для сжигания дробленок Rosa multiflora.

Ключевые слова: энергетические культуры, отопление дома, котлы для биомассы, издержки отопления

ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA KOTŁÓW NA BIOMASĘ DO CELÓW GRZEWCZYCH W BUDYNKU MIESZKALNYM

Streszczenie

Wykonano analizę techniczno-ekonomiczną wykorzystania różnych typów kotłów do spalania biomasy, takich jak: kocioł na słomę, kocioł do spalania zrębków oraz kocioł z palnikiem na owies. Analiza techniczna objęła dobór mocy kotła, oszacowanie sezonowego zapotrzebowania na energię końcową dla przykładowego budynku mieszkalnego. Obliczone zużycie energii końcowej posłużyło do określenia powierzchni uprawy roślin zbożowych, z których będzie wykorzystana słoma oraz ziarno owsa a także powierzchnię miskanta olbrzymiego i róży wielokwiatowej. Analiza ekonomiczna oparta na metodzie kosztów cyklu życia pozwoliła wybrać źródła ciepła, które w założonym okresie eksploatacji będą najbardziej efektywne pod względem ekonomicznym. Najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie kotła do spalania słomy. Charakteryzuje się on najniższymi kosztami w przypadku spalania balotów słomy jak również w przypadku zastosowania miskanta olbrzymiego. Zastosowanie kotła spalającego zrębki generuje koszty porównywalne spalania miskanta olbrzymiego. Zastosowanie kotła spalającego ziarno owsa, które byłoby specjalnie produkowane z przeznaczeniem na cele energetyczne jest ekonomicznie nieuzasadnione. Koszty ogrzewania w tym przypadku są 3,5-krotnie wyższe w porównaniu z kotłem spalającym słomę i dwukrotnie wyższe w przypadku zastosowania kotła spalającego zrębki. Przy założeniu plantacji roślin energetycznych w zależności od gatunku, można zastosować dwa rodzaje źródeł ciepła: kocioł spalający baloty miskanta olbrzymiego lub automatyczny zestaw do spalania zrębków róży wielokwiatowej.

Słowa kluczowe: uprawy energetyczne, ogrzewanie budynku, kotły na biomasę, koszty ogrzewania

1. Введение

Отопление жилых домов вместе с приготовлением теплой эксплуатационной воды в польской обстановке составляет 70-80% полного израсходования в коммунально – бытовом секторе [11, 16, 17, 18, 19]. В связи с этим гарантия соответствующего теплового комфорта для жителей в отопительный период требует значительных финансовых затрат на отопление. Подбор топлива или энергоносителя, которым будет питанная система отопления, это одно из самых важных решений. Выбирая источник тепла надо следовательно руководствоваться как экономическим расчетом, так и доступностью данного топлива. Тепловые потребности жилых домов помещенных на сельских территориях могут быть обеспечены путем использования разных носителей финальной энергии. Ими являются традиционные топлива, такие как каменный уголь, кокс или природный газ, но тоже могут использоваться обновляющиеся топлива в виде биомассы разного происхождения (отбросы сельскохозяйственного или лесного производства и энергетические культуры). Биомасса, которая может использоваться в энергетических целях, в этом для целей отопливания хозяйства и сельхозяйства определяется в нескольких документах Евросоюза, как и национальных, из которых самыми важными являются распоряжения министра экономики [14] и минсреды [13]. Важным аспектом, особенно в случае использования биомассы в энергетических целях в сельхозяйстве является возможность механизации уборки типичным сельскохозяйственным оснащением в цели минимализации издержек получения топлива в сельхозяйстве [1]. Разные виды биомассы изготовляемой в энергетических целях детерминируют тип котла, в котором она будет сжигаться. На рынке находится несколько технологических решений для котлов служащих сжиганию биомассы, в связи с этим необходимым является указание решения, которое в данных обстоятельствах и виде биомассы будет самым лучшим в техническом и экономическом отношении.

Целью работы был сравнительный анализ системы отопления ц.о. + ц.э.в. в отдельном жилдоме использующим как источник тепла котлы для сжигания биомассы, такие как котел для соломы, котел для сжигания дробленки и котел с форсункой для овса.

Диапазон работы обнимает вычисления: запроса на мощность для отопления дома, для приготовления теплой эксплуатационной воды, вычисление годичного расхода конечной энергии в объекте, а также оценено площадь энергетической культуры нужной для удовлетворения запроса на отопление дома вместе с среднегодовыми издержками для получения биомассы: соломы, *Miscantus giganteus*, *Rosa multiflora* и зерна овса.

2. Объект исследований

Объектом исследований является особняк (построен в 70-годах пр. ст.) с эксплуатационной площадью 185 м², кубатуре 557 м³ помещенный в III климатической зоне (климатическая станция Краков – Балице) с естественной вентиляцией, в котором проживают четыре лица. Датчик плотности дома A/Ve составляет 0,76 (1/м).

Средний коэффициент проникновения тепла тепловой защиты дома $U=0,81$ (W/m²K). Дом снабжен системой центрального отопления работающей на открытой системе (провода изолированные) с чугунными сцепленными

калориферами (снабженными в термостатические клапаны). Теплая эксплуатационная вода подготавливается в котланерной системе и проведена к водоразборным кранам посредством циркуляционной установки.

Опираемся на норму ПН – EN 1283 (PN –EN 1283) [8], которая составляет 16,9 киловата. Мощность установки для подготвления ц.э.в.в. котланерной системе вычисляется по норме ПН – 92/ Б -01706 (PN – 92/В –1706) [7] и она равняется 3 киловатам. Вычислена по [10] емкость котланера ц.э.в. это 200 дм³. Емкость аккумуляционного котланера сотрудничающего с котлом для сжигания соломы вычислена согласно норме ПН- ЭН 303 – 5:2002 (PN – EN 303 – 5:2002) [6] и составляет 2 500 дм³. К анализе избран котел для соломы мощностью в 25 киловатов и сезонной исправности 0,76; автоматический котел для сжигания дробленки мощностью в 20 киловатов и сезонной исправности 0,82; и котел с форсункой для сжигания овса мощностью в 15–25 киловатов, с сезонной исправностью 0,79. Исправности установки центрального отопления и подготвления теплой эксплуатационной воды принято согласно записям содержающимся в Распоряжении Министра Инфраструктуры Ж. З. Ном. 201 поз. 1240 [15].

3. Обсуждение результатов вычислений

Проведенные вычисления позволили определить запрос на конечную энергию [9] для анализированного дома, а их результаты сведены в таблице 1.

Сезонное израсходование конечной энергии в доме в зависимости от примененного источника тепла балансирует от 193 до 234 ГДж. Самая большая энергия расходуется в случае употрубления котла для сжигания соломы в главном истекает из принятой исправности источника тепла, а тоже для того, что в этой системе находится аккумуляционный резервуар (вычислена по [12] исправность аккумуляции составляет 0,88), значит создающий добавочные траты тепла. В этом котле могут быть сжиганы кубики спрессованной соломы или *Miscantus giganteus*.

Следующим элементом могущим помочь принять решение во время выбора данного типа источника тепла является экономическая оценка. Экономический счет проведен при помощи метода LCC (*Life Cycle Cost*) [5]. Этот метод позволяет определить полные инвестиционные и эксплуатационные издержки системы в рассматриваемом цикле его жизни опираясь на зависимость [1].

$$LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Ke, o \cdot (1 + re)^n}{(1 + i)^n} \text{ [тыс. ПЛН]}$$

где:

Kp – вступные издержки (издержки покупки и пуска установки),

Ke, o – годовые издержки эксплуатации установки (издержки энергии, издержки осмотров и ремонтов),

t – очередной год эксплуатации установки,

re – норма повышения цен производства биомассы,

n – 1..15 очередной год издержек ($n = 15$ предполагаемое количество лет цикла жизни установки).

Чтобы определить уровень издержек эксплуатации установки (отопления дома) в начале определено минимальную площадь культуры и ее энергетический потенциал. Вычисления произведены опираясь на информации касающейся величины урожая и стоимости швырковой массы [2, 3]. Стоимость топлива является только ли стоимостью производства биомассы. Опираясь

на [2, 4, 20] оценено стоимость производства овса, *Miscantus giganteus* и *Rosa multiflora*. В случае соломы, к которой подходим как к побочному плоду в хозяйстве оценены: издержки спрессования, нагрузки и транспорта на расстояние до 10 километров. Результаты вычислений для анализированного дома сопоставлены в таблице 2.

Чтобы определить уровень издержек эксплуатации установки (отопления дома) в начале определено минимальную площадь культуры и ее энергетический потенциал. Вычисления произведены опираясь на информации касающейся величины урожая и стоимости швырковой массы [2, 3]. Стоимость топлива является только ли стоимостью производства биомассы. Опираясь на [2, 4, 20] оценено стоимость производства овса, *Miscantus giganteus* и *Rosa multiflora*. В случае соломы, к которой подходим как к побочному плоду в хозяйстве оценены: издержки спрессования, нагрузки и транспорта на расстояние до 10 километров. Результаты вычислений для анализированного дома сопоставлены в таблице 2.

Анализируя вышеуказанную таблицу можно установить, что самой лучшей в отношении к площади культурой будет поставление плантации *Miscantus giganteus* или *Rosa multiflora*. В случае хлебных злаков, чтобы отопить анализированный дом необходимым

будет назначение ареала площади гект. 5. Видны тоже значительные разницы в производстве биомассы. Для культур *Miscantus giganteus* и *Rosa multiflora* составляет он тыс. 3 PLN. В случае колосовых видна значительная поляризация издержек. Солома как побочный продукт назначен для энергетических целей стоит тыс. PLN 1,4, если же земледелец решился бы на выращивание овса с назначением для отопления, он должен считаться с издержками достигающими даже 9 000 тыс. PLN в год.

Для запросов анализа оценки издержек цикла жизни системы отопления для образцового дома мы ограничились определением издержек покупки вместе с пуском установки K_p (Kn) и единичной стоимости первичной энергии содержащейся в биомассе, а тоже мы приняли во внимание издержки сервиса во время эксплуатации этой установки Ke, o (Ke, o). В таблице 3 содержатся основные предпосылки для экономических вычислений. В исходных издержках для котла для соломы учтены тоже издержки на покупку аккумуляционного резервуара, который является необходимым элементом установки ц.о. В случае применения котла для сжигания дробленки *Rosa multiflora*, добавочно взяты во внимание издержки на покупку огородничего дробителя для хвоя.

Табл. 1. Стоимость годового запроса на энергию в доме
Table 1. Value of annual demand for energy

| Перечисление | Система центрального отопления и подготовки теплой эксплуатационной воды, которого источником является: | | |
|--|---|------------------------------|------------------------------------|
| | Котел для соломы | Котел для сжигания дробленки | Котел сфорсункой для сжигания овса |
| Сезонный запрос на конечную энергию GJ/a | 234 | 193 | 200 |

Источник: личные вычисления / Source: Author's own calculations

Табл. 2. Минимальная площадь культуры и издержки на производство биомассы для энергетических целей
Table 2. The minimum area of cultivation and production costs of biomass for energy

| Перечисление | Энергетический потенциал биомассы (ГДж/гектар) | Минималная площадь культуры (гектар) | Стоимость производства биомассы (тыс. PLN) |
|----------------------------|--|--------------------------------------|--|
| солома | 47 | 5 | 1,4 |
| <i>Miscantus giganteus</i> | 221 | 1,06 | 2,8 |
| <i>Rosa multiflora</i> | 236 | 0,82 | 3,1 |
| овес | 43 | 4,7 | 8,9 |

Источник: личные вычисления / Source: Author's own calculations

Табл. 3. Основные предпосылки для экономических вычислений
Table 3. The basic assumptions for the economic calculations

| Перечисление | Стоимость | | | |
|---|---|--|--|------|
| | Котел для соломы + аккумуляционный резервуар | Автоматический набор для сжигания дробленки + дробилка | Автоматический набор с форсункой для сжигания овса | |
| $K_p(Kn)$ – исходные издержки (тыс. PLN) | 14,97 | 18,1 | 9,68 | |
| $N(n)$ – полное количество лет эксплуатации | 15 лет | | | |
| o – издержки обслуживания и ремонтов | 1% инвестиционных издержек (в год) | | | |
| Одичная цена исходной энергии содержащейся в биомассе PLN/ГДж | Солома – 6 <i>Miscantus giganteus</i> - 12 дробленка <i>Rosa multiflora</i> - 16 зерно овса - 45 | | | |
| Re (Pe) – норма роста цен производства биомассы | 3% | | | |
| i (i) – норма дисконта | 6% | | | |
| Ke, o (Ke, o) – годовые издержки эксплуатации | солома | <i>Miscantus giganteus</i> | Дробленка <i>Rosa multiflora</i> | овес |
| | 1,55 | 2,95 | 3,28 | 8,99 |

Источник: личные вычисления / Source: Author's own calculations

Табл. 4. Расходы цикла жизни для анализируемых систем
 Table 4. Life cycle costs for the analyzed systems

| перечисление | Котел для соломы + аккумуляционный бассейн | | Автоматический набор для сжигания дробленки + дробилка | Автоматический набор для сжигания овса |
|--|---|----------------------------|--|---|
| | солома | <i>Miscantus giganteus</i> | <i>Rosa multiflora</i> | овес |
| LCC [тыс..PLN] | 33,6 | 50,4 | 57,4 | 117,7 |
| Средние годовые расходы на отопление, (тыс. PLN/г) | 2,24 | 3,36 | 3,82 | 7,84 |

Источник: личные вычисления / Source: Author's own calculations

Инвестиционные издержки в зависимости от источника тепла балансируют от тыс. 10 PLN с набором с форсункой для сжигания овса до 18 тыс. PLN если применим набор для сжигания дробленки. Цена единицы первичной энергии содержащейся в биомассе очень дифференциальная и составляет от 6 до 46 PLN/ГДж. Самыми низкими издержками характеризуется солома, наиболее же стоит единица первичной энергии в случае овса.

Проведенные вычисления позволили определить издержки цикла жизни для анализируемых отопительных систем, а также позволили на оценку средних годовых расходов на отопление дома на протяжении пятнадцатилетнего периода эксплуатации (таблица 4).

Самым лучшим источником тепла для отопления дома является котел для соломы. Он характеризуется самыми низкими расходами LCC как для соломы так и в случае сжигания в нем *Miscantus giganteus*. Полные расходы на отопление в случае сжигания дробленки *Rosa multiflora* являются соизмерными расходами эксплуатации системы с котлом, в котором сжигался бы *Miscantus giganteus*. Применение котла сжигающего зерно овса, которое специально проидавалось бы с назначением для энергетических целей является экономически необоснованным и нерентабельным. Расходы на отопление в этом случае являются 3 раза высшими в сравнении с котлом сжигающим солому и два раза высшие в случае применения котла сжигающего дробленку *Rosa multiflora*. Если обладатель хозяйства решил бы завести плантацию энергетических растений, у него два источника тепла: это котел сжигающий кубики *Miscantus giganteus* или автоматический набор для сжигания дробленки *Rosa multiflora*. В обоих случаях расходы соизмерные и к тому как инвестиционные, так и эксплуатационные.

4. Резюме

Проведен технико-экономический анализ использования разных типов котлов для сжигания биомассы позволил определить мощность источников тепла, благодаря чему мы могли оценить инвестиционные расходы, которые составляют от 10 тыс. PLN для котла с форсункой для сжигания овса до 18 тыс. PLN в случае котла сжигающего дробленку. Вычисленный расход конечной энергии в стандартном отопляемом сезоне послужил для определения площади для культур биомассы. Минимальная площадь колосовых, из которых будет использована солома или зерно должна составлять гект. 5. Площадь плантации энергетических растений в пять раз меньше, чем для колосовых. Расходы на производство биомассы зависят от ее рода и балансируют от 1,4 тыс. PLN для соломы до тыс. 9 PLN в случае выращивания овса. Расходы на *Miscantus giganteus* и *Rosa multiflora*

соизмерные и составляют тыс. 3 PLN. Анализ опертый на методе расходов цикла жизни позволил выбрать источники тепла, которые в заведенный пятнадцатилетний период эксплуатации будут экономически наиболее эффективными. Самым лучшим решением будет применение котла для сжигания соломы. Генерирует он самые низкие расходы в случае сжигания кубиков соломы (тыс. 2,3 PLN/a, как тоже в случае применения *Miscantus giganteus* (3,4 тыс. PLN/a). Применение котла сжигающего дробленку *Rosa multiflora* создает средние расходы соизмеримые системе, в которой сжигается *Miscantus giganteus*. При возведении плантации энергетических растений в зависимости от вида, можно применить два типа источников тепла: это котел сжигающий кубики *Miscantus giganteus* или автоматический набор для сжигания дробленки *Rosa multiflora*. Расходы в обоих случаях сравнимые

5. Литература

- [1] Lisowski A.: Technologie zbioru roślin energetycznych. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2010, 146 ss.
- [2] Frączek J.: Produkcja biomasy na cele energetyczne, Tom 1. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Zarząd Główny. 2010, 203 ss.
- [3] Kościak B. (red.): Rośliny energetyczne. Wydawnictwo AR w Lublinie 2003, 146 ss.
- [4] Muzalewski A.: Koszty eksploatacji maszyn. Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne maszyn i ciągników stosowanych w gospodarstwach indywidualnych. Warszawa: Wydawnictwo IBMER, 2006, 32 ss.
- [5] Pasierb S.: Efektywne wykorzystanie energii w firmie. PARP, Warszawa, 2009.
- [6] PN EN 303-5:2002: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW – Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie.
- [7] PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.
- [8] PN-EN 12831:2008 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [9] PN-EN ISO 13790:2008 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia.
- [10] Recknagel H., Sprenger E., Honmann W., Schramek E.: Ogrzewanie i klimatyzacja. EWFE, Gdańsk, 1994.
- [11] Robakiewicz M.: Użytkowanie energii i oszczędności energii w budynkach. Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, 1999, s. 1-20.
- [12] Robakiewicz M.: Metodyka sporządzania świadectw energetycznych budynków i mieszkań. Fundacja Poszanowania Energii. Warszawa, 2009.
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji – Dz. U. Nr 260/2005 r., poz. 2181, ze zm. – § 5 ust. 7 i § 16 ust. 7 lit. a-e.

- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii – Dz. U. Nr 156/2008 r., poz. 969, ze zm.
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw i ich charakterystyki energetycznej. Dziennik Ustaw nr 201, poz. 1240.
- [16] Szul T.: Zużycie energii finalnej na ogrzewanie na obszarach wiejskich województwa lubelskiego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2011, Vol. 56(1), s. 139-141.
- [17] Trojanowska M., Szul T.: Techniczna i gospodarcza analiza oraz prognozowanie nakładów energetycznych na ogrzewanie budynków mieszkalnych na terenach wiejskich. *Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agralia*, Lublin, 2, 2003 (2), s. 69-77.
- [18] Trojanowska M., Szul T.: Modelling of energy demand for heating buildings, heating tap water and cooking in rural households. *TEKA Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Lublin, 2006, Vol. V.
- [19] Trojanowska M., Szul T.: Determination of heat demand in rural communes. *TEKA Komisji Energetyki Rolnictwa OL PAN*, 8a, Lublin, 2008, 180-187.
- [20] Warmińsko Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Olsztynie. Kalkulacje kosztów uprawy zbóż. http://wmodr.pl/files/File/KALKULACJE/09.2013/Owies_09.2013.pdf.