

**Krzysztof CIESIELSKI, Kamil PRZYBYŁEK**

e-mail: krzysztof.ciesielski@p.lodz.pl

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

**Analiza cyklu życia systemów grzewczych wykorzystujących pierwotne i odnawialne źródła ciepła****Wstęp**

Analizy oddziaływania na środowisko danego produktu czy systemu zazwyczaj ograniczają się do wyznaczenia ilości szkodliwych substancji powstających w wyniku składowania na wysypisku śmieci i ewentualnie strumieni wytwarzanych w trakcie eksploatacji. Niekiedy zwłaszcza w aspekcie potocznym i reklamowym produkty klasyfikuje się jako ekologiczne jedynie na podstawie rodzaju lub ilości zużywanego paliwa.

Jednym z takich produktów uważanych ogólnie za przyjazne środowisku są systemy grzewcze wykorzystujące pompy ciepła.

W niniejszej pracy przedstawiono analizę porównawczą różnych systemów grzewczych: klasycznego w postaci kotła gazowego i systemów opartych o pompę ciepła.

**Wybór metody obliczeniowej**

Chcąc dokonać kompleksowej analizy wpływu danego produktu lub systemu na środowisko naturalne należy objąć jej zakresem znacznie więcej czynników, niż wspomniane powyżej. Analiza ta powinna zawierać opisy strumieni materiałów i energii, indukowanych przez wprowadzenie danego produktu na rynek, powstających na każdym etapie cyklu życia produktu, począwszy od wydobycia surowców niezbędnych w procesie produkcyjnym, wytworzenie urządzenia, poprzez jego eksploatację, a kończąc na jego utylizacji lub recyklingu (tzw. analiza *od kołyski do grobu – from cradle to grave*).

Techniką realizującą takie założenie jest analiza cyklu życia produktu LCA (*Life Cycle Assessment*), jedyna oficjalnie uznana metoda analizy oddziaływania na środowisko ujęta w ramy normy ISO 1404x, [Cascio, 1996]. Stosowanych jest szereg metodologii m.in.: *Eco-Indicator* (Ekowskażnik), MIPS (*Material Input Per Service unit*), EIO-LCA (*Economic Input-Output Life Cycle Assessment*).

W niniejszej pracy wybrano metodę ekowskażnika jako najbardziej kompleksową i najpowszechniej stosowaną. Obliczenia wykonane zostały za pomocą programu *SimaPro*. Zarówno bazy materiałowe jak i metodyka obliczeń wspomnianego programu są w pełni zgodne z założeniami i wymaganiami normy ISO [Cascio in., 1996]. Ponieważ wyniki ekopunkty nie mają odniesienia i wymiaru fizycznego zazwyczaj dokonuje się analizy porównawczej kilku systemów.

**Analizowane systemy grzewcze****Dobór urządzeń grzewczych**

Analizie poddano klasyczny system ogrzewania oparty na piecu gazowym oraz 2 układy wykorzystujące pompy ciepła różniące się rodzajem dolnego źródła ciepła: pompę ciepła z wymiennikiem gruntowym (glikol-woda) i z wymiennikiem powietrznym (powietrze-woda).

**Specyfikacja ogrzewanego obiektu**

W niniejszej analizie urządzenia grzewcze zostały dobrane dla domu jednorodzinnego, parterowego o powierzchni użytkowej 120 m<sup>2</sup> i wysokości pomieszczeń 2,7 m. Znajduje się on na działce o powierzchni 1100 m<sup>2</sup> w miejscowości oddalonej 25 km od Łodzi (III. strefa klimatyczna). Budynek został wykonany w technologii klasycznej, okna PCV o niskim współczynniku przenikania ciepła, izolacja cieplna ścian 12 cm. W obiekcie zastosowano ogrzewanie podłogowe i grzejniki niskotemperaturowe. Do podgrzewania ciepłej wody użytkowej zastosowano zbiornik o pojemności 200 litrów z wężownicą.

**Parametry kotła:** maksymalna moc cieplna: 23,6 kW, sprawność: 0,91, zużycie gazu płynnego: 2,01 kg/h, pobór mocy elektrycznej na zasilenie pompy obiegowej i zapłonu: 100 W, ciężar urządzenia: 24,6 kg.

**Parametry pompy ciepła glikol-woda:** moc cieplna: 10,36 kW, pobór mocy elektrycznej: 2,03 kW, stopień efektywności COP: 5, czynnik chłodniczy: R410A, sprężarka spiralna wyposażona w inwerter, ciężar: 139 kg.

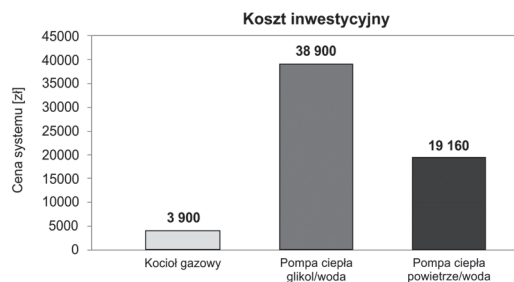
**Parametry pompy ciepła powietrze-woda:** średnotemperaturowa pompa ciepła typu MONOBLOK działająca w trybie on/off, moc cieplna: 12,4 kW, pobór mocy elektrycznej: 4,06 kW, stopień efektywności COP: 3, czynnik chłodniczy: R410A, ciężar urządzenia: 133 kg.

**Analiza porównawcza systemów grzewczych**

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono analizę zarówno w aspekcie ekonomicznym (analiza kosztów) jak i środowiskowym (analiza LCA).

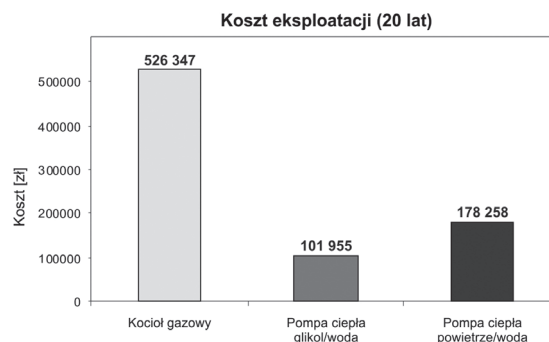
**Analiza kosztów**

Przeprowadzono analizę kosztów rozpatrywanych systemów na podstawie aktualnych cen urządzeń oraz aktualnych i prognozowanych cen paliw.



Rys. 1. Porównanie kosztów inwestycyjnych wszystkich analizowanych systemów

Jak widać na rys. 1 koszt zakupu układu z pompą glikol-woda jest niemal 10-krotnie większy niż w przypadku kotła gazowego i dwukrotnie większy niż w przypadku pompy ciepła powietrze-woda. Tłumaczy to popularność w naszym kraju pomp z wymiennikiem powietrznym pomimo ich niezadowalającej w naszym klimacie sprawności i wydajności. W zależności od producenta ceny pomp znacząco się różnią, mogą być nawet dwu-trzykrotnie wyższe niż ceny omawianych tutaj urządzeń.



Rys. 2. Koszt eksploatacji przez 20 lat pracy rozpatrywanych systemów grzewczych

Rys. 2 przedstawia zestawienie kosztów eksploatacji w ciągu 20 lat pracy urządzenia, który przyjęto w niniejszym opracowaniu jako okres żywotności urządzenia. Jak widać koszty eksploatacji kotła gazowego

przez okres 20 lat są ponad 5-krotnie większe niż w przypadku zastosowania pompy ciepła glikol-woda i niemal 3-krotnie większe niż przy wykorzystaniu pompy powietrze-woda. Zatem w wieloletnim trybie pracy wyższy koszt zakupu systemu z pompą ciepła rekompensowany jest znacznie niższymi kosztami użytkowania.

### Analiza cyklu życia produktu

Analiza cyklu życia produktu (LCA) składa się z kilku etapów [Baumann i in., 2004]:

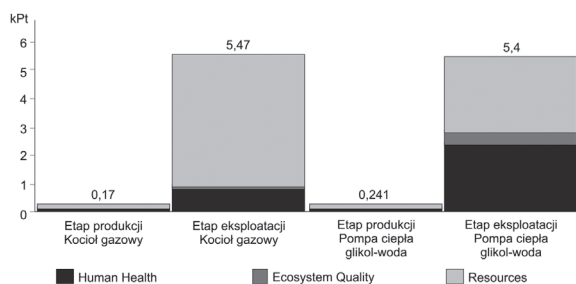
- analizy celu (*goal and scope analysis*),
- analizy zbioru – inwentaryzacji (*inventory analysis*),
- oceny oddziaływania (*impact assessment*),
- interpretacji wyników (*interpretation*).

Etap zbierania danych (*inventory analysis*) jest najtrudniejszy, najbardziej żmudny, a jednocześnie ma wymierny wpływ na jakość całej analizy.

Aby możliwe było porównanie dwóch różnych systemów, niezbędne jest zastosowanie współczynnika przeliczeniowego (dla strumieni materiałowych i energetycznych) – tzw. jednostki funkcjonalnej. W normie ISO jednostka funkcjonalna jest zdefiniowana jako *ilościowy efekt systemu wyrobu stosowany jako jednostka odniesienia w badaniach LCA*, inaczej mówiąc jest miarą efektów wynikających z przeznaczenia wyrobu [Górzyński, 2007].

W niniejszej pracy jako jednostkę funkcjonalną przyjęto obliczone zapotrzebowanie budynku na ciepło (9,5 kW) oraz okres 1 roku przy 20-letnim cyklu życia produktu. Obliczenia wykonano z pomocą programu *SimaPro* (firmy *Pré*) z wykorzystaniem metody *Ecoindicator 99*, w której wyniki prezentowane są w postaci ekopunktów [Pt] (*ecoindicator point*). Ta jednostka ekowskaźnika powstała w wyniku podzielenia całego ładunku środowiskowego przypadającego na kontynent europejski przez liczbę mieszkańców i pomnożenie wyniku przez  $10^3$  [Zbiciński i in., 2006].

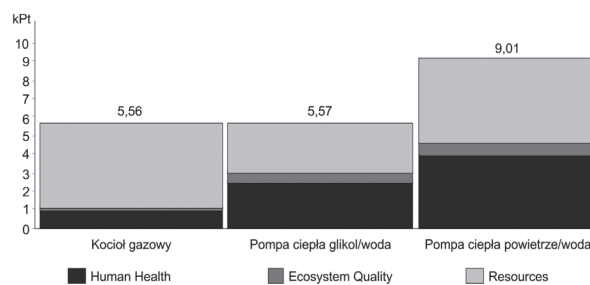
Na rys. 3 przedstawiono wyniki analizy porównawczej LCA dla kotła gazowego i pompy ciepła glikol-woda z wydzielonymi etapami produkcji oraz pracy (eksploatacji) urządzeń. Wyniki prezentowane są z wyróżnieniem kategorii szkód w obszarach: zdrowia (*human health*), ekosystemu (*ecosystem quality*) i zasobów naturalnych (*resources*). Jak widać na wykresie, etap produkcji (wytworzenia wyrobu) ma znikomy wpływ na wynik ogólny całego cyklu życia systemu w obu przypadkach. Przy porównaniu obu systemów można zauważyć, iż wpływ środowiskowy etapu eksploatacji jest porównywalny. Dla etapu wytworzenia dla pompy ciepła wpływ ten jest 1,4 razy większy. Wynikać to może m.in. z użycia dużej ilości glikolu jako cieczy roboczej oraz większej masy systemu (większej ilości zużytych materiałów i surowców).



Rys. 3. Porównanie wyników analizy LCA kotła gazowego i pompy glikol/woda dla okresu 20 lat – podział na etapy produkcji i pracy (eksploatacji)

Na rys. 4 zaprezentowano wyniki porównawczej analizy LCA trzech rozpatrywanych systemów dla pełnego, 20-letniego cyklu życia produktu. Jak można zaobserwować, skumulowane wyniki oddziaływania dla pieca gazowego i pompy glikol-woda są zbliżone, jedynie udział wpływu na zasoby naturalne jest znacznie większy w przypadku pieca gazowego. Wynik otrzymany dla pompy powietrze-woda jest ponad 1,6 razy gorszy niż dla pompy glikol-woda. Wynika to m.in. ze znacznie większego zużycia energii elektrycznej i stanowi kolejny dowód, iż pompy ciepła powietrze-woda są nieprzystosowane do pracy w naszym klimacie.

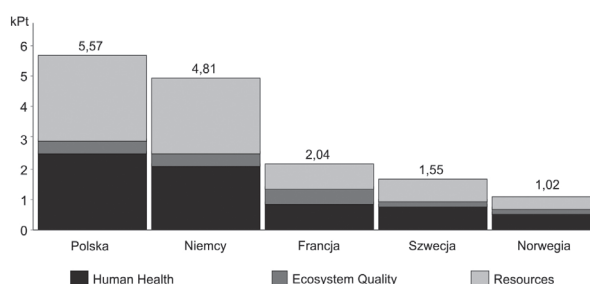
Zastanawiający jest słaby wynik osiągnięty przez obie pompy ciepła uważane powszechnie za ekologiczne źródła ciepła. Poszukując przy-



Rys. 4. Analiza pełnego cyklu LCA trzech analizowanych systemów dla okresu 20 lat

czyn takiego stanu rzeczy sprawdzono szereg uwarunkowań i warunków brzegowych modelu. Jednym z nich było uwarunkowanie geograficzne związane m.in. z technologią wytwarzania energii elektrycznej.

Rys. 5 przedstawia wynik analizy LCA (skumulowane ekopunkty) dla pompy ciepła glikol-woda w zależności od kraju, w którym jest użytkowana ta instalacja.



Rys. 5. Skumulowany wynik analizy LCA dla pompy ciepła glikol-woda w zależności od kraju, w którym użytkowana jest instalacja

Jak widać na wykresie obciążenie środowiskowe zmienia się w znacznym stopniu w zależności od kraju, w którym użytkowana jest instalacja. Porównując Polskę i Norwegię można zaobserwować stosunek liczby ekopunktów wynoszący ok. 5,5. Związane jest to z technologią wytwarzania energii elektrycznej dominującej w danym kraju: w Polsce jest to głównie technologia oparta na węglu, we Francji są to elektrownie jądrowe, zaś w Norwegii – elektrownie wodne.

### Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzono analizę porównawczą trzech systemów grzewczych opartych o: kocioł gazowy, pompę ciepła glikol-woda i pompę powietrze-woda zarówno w aspekcie ekonomicznym jak i środowiskowym.

W aspekcie finansowym potwierdzono zalety pompy ciepła (zwłaszcza typu glikol-woda, której zakup zwraca się po 6 latach eksploatacji), jednak wyniki analizy LCA dowodzą, iż ogólne przekonanie o małym wpływie na środowisko naturalne pomp ciepła nie jest w pełni uzasadnione.

Dowiedziano, iż miejsce (kraj) eksploatacji systemów pomp ciepła ma znaczny wpływ na oddziaływanie środowiskowe. Związane jest to ze strategią energetyczną poszczególnych państw.

Prezentowanych w pracy wyników nie można w sposób bezpośredni i bezkrytyczny przenosić na inne, dowolne układy ogrzewania (na rynku istnieje duży wachlarz rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych systemów grzewczych, zarówno z kotłami gazowymi, jak i z pompami ciepła), ponieważ przedstawiono jedynie ogólną tendencję na przykładzie konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych.

### LITERATURA

- Baumann H., Tillman A.-M., 2004. *The Hitch Hiker's Guide to LCA*, Studentlitteratur, Lund
- Cascio J. Woodside G., Mitchell P., 1996. *ISO 14000 Guide: The new international environmental management standards*. McGraw-Hill
- Górzyński J., 2007. *Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów*. WNT, Warszawa
- Zbiciński I., Stavenuiter J., Kozłowska B., van de Coevering H.P.M. (Eds.), 2006. *Product Design and Life Cycle Assessment*. The Baltic University Press, Uppsala. (06.2013) <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:604277/FULLTEXT01>