

SEZONOWY ZASOBNIK CIEPŁA DLA DOMU JEDNORODZINNEGO

Autor: Arkadiusz Kępa

('Rynek Energii' - czerwiec 2017)

Słowa kluczowe: ogrzewanie, sezonowy akumulator ciepła

Streszczenie. Ciepło do celów grzewczych nie musi być o wysokiej temperaturze. Wystarczy kilkadziesiąt stopni Celsjusza. Mediów o takiej temperaturze (czyli potencjalnych źródeł) jest w naszym otoczeniu dosyć dużo. Wystarczy poszukać chłodni wentylatorowych (nawet tych najmniejszych – przy urządzeniach klimatyzacyjnych), czy kolektorów słonecznych na dachach. Jednocześnie, dzięki lepszej izolacyjności przegród budowlanych, maleje samo zapotrzebowanie na ciepło na cele grzewcze. Naturalną wydaje się pojawiająca myśl – czy można to ciepło gromadzić w okresie gdy mamy jego nadwyżki (bardzo często w okresie letnim) aby wykorzystać je później (najczęściej zimą)? Odpowiedź brzmi – tak. Potrzebny nam jest jedynie sezonowy zasobnik ciepła. Od razu należy zaznaczyć, iż przedmiotem zainteresowania niniejszej pracy jest gromadzenie ciepła w skali domu jednorodzinnego, którego dokonać mógłby inwestor indywidualny. W artykule omówiono aktualnie dostępne „na rynku” sposoby magazynowania i przytoczono najprostsze zależności, które pozwolą obliczyć wielkość magazynu ciepła.

1. WSTĘP

Średnio, w polskich gospodarstwach domowych cele grzewcze (ogrzewanie pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej) „pochłaniają” ponad 83 % energii [3]. Im starszy budynek (czyli z gorszą izolacją cieplną), tym większy i udział, i bezwzględne zapotrzebowanie na ciepło. Tradycyjnie ciepło grzewcze uzyskujemy w procesach spalania paliw. W Polsce w bardzo wielu przypadkach paliwem tym jest węgiel kamienny, którego spalanie w starych piecach grzewczych powoduje tzw. niską emisję i ostatnio mocno nagłaśniane problemy ze smogiem.

Temperatura czynnika grzewczego w sieci c.o. nie jest wysoka – maksymalnie 130⁰C, ale typowe w domowej instalacji grzewczej temperatury są znacznie niższe – kilkadziesiąt stopni lub mniej (dla ogrzewania niskotemperaturowego). Pozwala to na kogenerację energii elektrycznej i ciepłej nie tylko w elektrociepłowni, ale i np. w silniku spalinowym czy innych źródłach rozproszonych.

Niska temperatura czynnika grzewczego powoduje, iż potencjalnie do ogrzewania można „zagospodarować /wykorzystać” ciepło odpadowe, z procesów technologicznych, chłodzenia urządzeń itp. Innym, ekologicznym i „darmowym” źródłem ciepła, które może być wykorzystane do celów grzewczych jest energia promieniowania słonecznego.

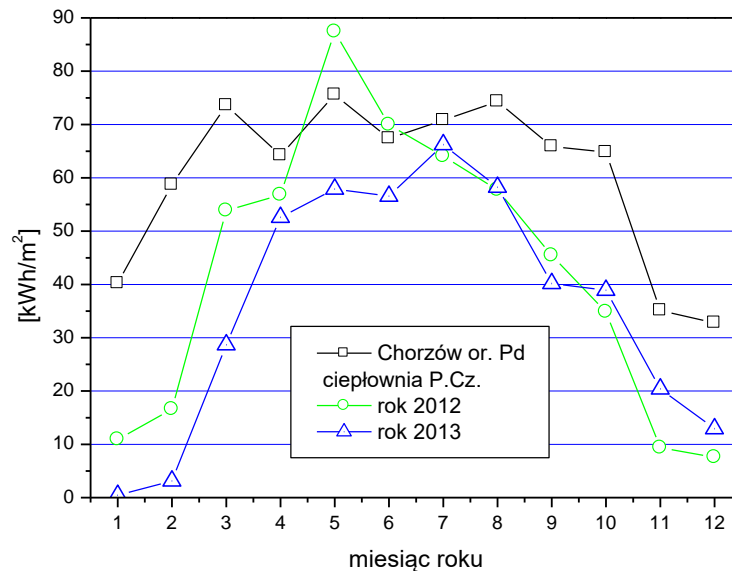
Jednym z „problemów” kogeneracji jest nie pokrywanie się w czasie zapotrzebowania na prąd i ciepło, tj. mniej więcej wyrównane w ciągu roku zapotrzebowanie na prąd, ale występujące głównie w sezonie grzewczym zapotrzebowanie na ciepło.

W niniejszym artykule autor zastanawia się, czy i jak magazynować ciepło nadmiarowe z lata do ogrzewania zimą. Zagadnienie to przedstawiono z punktu widzenia użytkownika (właściciela) domu jednorodzinnego. Zamieszczone wzory są maksymalnie uproszczone (niestety, kosztem dokładności.”

2. ZYSKI CIEPŁA OD PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Do powierzchni ziemi (w Polsce) dociera średnio w roku ok. 1000 kWh/m² energii promieniowania słonecznego [14, 20]. Szczegółowo konkretną lokalizację możemy sprawdzić na stronie [5]. Energię tę możemy zamienić na ciepło (w kolektorach słonecznych) lub bezpośrednio na energię elektryczną (w ogniwach fotowoltaicznych).

Na rys. 1 zestawiono ilości ciepła pochłoniętego (pozyskanego) przez kolejne miesiące lat 2012-2013 przez instalację solarną ciepłowni akademickiej Politechniki Częstochowskiej [26]. Rocznie pozyskano 514,5 kWh/m² w roku 2012 i 436,2 kWh/m² w roku 2013. Na rysunku zamieszczono również sumy miesięczne całkowitego promieniowania słonecznego dla stacji aktynometrycznej Chorzów (orientacja południowa, nachylenie do poziomu 90⁰) wg [18]. Roczna suma wynosi 723,4 kWh/m² (na miesiące od kwietnia do września przypada 418,2 kWh/m², czyli 58 %). Nie tylko sprawność kolektora jest zdecydowanie mniejsza od 100 %. Czasami energia, która dotarła do kolektora nie może być dalej wykorzystana i jest tracona. Na przykład w badaniach [23] stopień wykorzystania ciepła uzyskanego z promieniowania słonecznego odniesiony do potencjału technicznego wynosił jedynie od 16 do 46 % (średnio 27,5%).



Rys. 1. Miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego dla ciepłowni akademickiej P.Cz. oraz całkowitego promieniowania słonecznego dla stacji aktynometrycznej Chorzów

To, jaką ilość energii „pozyska” kolektor zależy od jego odchylenia od poziomu i usytuowania względem kierunków geograficznych (południa). Zmieniając te dwa parametry możemy zmienić nie tylko ilość sumaryczną pozyskanej energii, ale również (w ograniczonym zakresie) jej rozdział na poszczególne miesiące roku.

Nie cała energia, która dociera do kolektora jest wykorzystywana. Sprawność konwersji dla kolektorów zmienia się w dosyć szerokim zakresie (w zależności od różnicy temperatur otoczenia i czynnika odbierającego ciepło) od 80 do 40 % dla kolektorów próżniowych, a spada nawet do zera dla kolektorów płaskich [20].

Aktualnie zdecydowana większość instalacji z kolektorami służy przede wszystkim do podgrzewu c.w.u., w niewielkim stopniu „wspomaga” centralne ogrzewanie. Jednak całkowita ilość energii uzyskana z kolektorów słonecznych zależy od ich powierzchni a tą zawsze możemy zwiększyć, zyskując „darmowe” ciepło.

Dla przykładu obliczono ilość ciepła zyskiwaną przez kolektory słoneczne i ich powierzchnię potrzebną do „ogrzania” domu jednorodzinnego.

Przyjmijmy za [5], że w Częstochowie rocznie mamy „do dyspozycji” 1100 kWh/m^2 (powierzchnia pozioma) a sprawność kolektora wynosi 60 % (kolektor próżniowy). Rocznie pozyskać możemy więc 660 kWh z m^2 powierzchni kolektora. Jest to dosyć wysoka wartość. Producenci (np. [20]) podają, iż dla kolektora płaskiego wydajność mieści się w zakresie $300\text{--}500 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$. W takim hipotetycznym przypadku, gdyby zgromadzić i wykorzystać całą tę energię, to aby pokryć przy pomocy kolektorów słonecznych zapotrzebowanie na ciepło dla domu jednorodzinnego, które może przykładowo wynosić $16,4 \text{ MWh}$ (zobacz pkt. 3), potrzeba by blisko 25 m^2 kolektorów.

Realna „produkcja ciepła” przez zwykły, płaski kolektor słoneczny w okresie zimowym jest minimalna – nie pozwoli na zasilenie instalacji grzewczej. Pozwoli na to droższy w zakupie, kolektor próżniowy. Jeśli założymy, iż do gromadzenia ciepła wykorzystamy jedynie miesiące od kwietnia do września oraz, że promieniowanie to stanowi 58 % całorocznego, to do zgromadzenia odpowiedniej ilości ciepła potrzeba by było blisko 43 m^2 kolektorów.

Jak widać, potrzebna do pozyskania odpowiedniej ilości ciepła powierzchnia kolektorów dla domu jednorodzinnego wynosi kilkadziesiąt metrów kwadratowych. Powierzchnia ta jest dużo mniejsza od typowej powierzchni dachu (w analizowanym przypadku 100 m^2).

3. ZAPOTRZEBOWANIE NA CIEPŁO

Uproszczony sposób oszacowania zapotrzebowania na ciepło do celów grzewczych jest podany w [8-11]. We wspomnianych pracach analizowany był „dom modelowy” o powierzchni 100 m². Aby obliczyć zapotrzebowanie dla interesującego nas przypadku można również skorzystać z kalkulatorów on-line dostępnych w sieci (np.[7]). Obliczenie zgodne z aktualnymi Normami i Rozporządzeniami (np. [19, 22]) jest dużo bardziej praco- i czasochłonne.

W dalszych rozważaniach przyjmujemy, że dla celów c.o. potrzebne nam jest 13,4 MWh ciepła rocznie (plus 3 MWh dla podgrzewu c.w.u. [9]).

Zgodnie z Obwieszczeniem [15] dla nowo-budowanych budynków maksymalne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP_{H+W} (na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania c.w.u. od 1 stycznia 2017 wynosi 95 kWh/(m² rok). Należy jednak pamiętać, iż w zależności od sposobu ogrzewania całkowite ciepło może być większe od zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Już wkrótce, od 1 stycznia 2021, wartość EP_{H+W} będzie obniżona do 70 kWh/(m² rok).

W przypadku domów pasywnych zapotrzebowanie na ciepło jest bardzo niskie - poniżej 15kWh/m² na rok [17]) – około dziesięciu razy mniej niż w analizowanym przypadku.

4. ZASOBNIK (AKUMULATOR) CIEPŁA

4.1. Sposoby magazynowania ciepła

Najprostszym sposobem magazynowania energii cieplnej (ang. thermal energy storage - TES) jest wykorzystanie pojemności cieplnej cieczy lub ciał stałych. Więcej ciepła zgromadzi się dzięki wykorzystaniu ciepła przemian fazowych (ang. phase-change materials - PCM) a najefektywniejszym sposobem jest wykorzystanie przemian chemicznych i fotochemicznych. Magazyny wykorzystujące ciepło przemian fazowych czy przemiany chemiczne nie weszły jeszcze do szerszego użytku.

W chwili obecnej za podstawowe magazyny energii cieplnej należy uznać zbiorniki wodne (w tym stawy słoneczne) oraz podziemne zbiorniki ciepła (ang. underground thermal Energy storage -UTES).

Do tych ostatnich zaliczamy: otwory (odwierty) w ziemi/skałach, przestrzenie naturalne lub wydrążone w skałach (jaskinie skalne) oraz warstwy wodonośne.

Najlepszym medium do magazynowania przy wykorzystaniu pojemności cieplnej jest woda. Ma ona najwyższą pojemność cieplną (wynoszącą ok. $4,186 \text{ kJ}/(\text{kg K}) = 4,186 \text{ MJ}/(\text{m}^3 \text{ K})$, przy założonej gęstości wody $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$). Woda jest ogólnie dostępna, tania i ekologicznie przyjazna. Skały (sucha ziemia) mają pojemność cieplną kilkukrotnie mniejszą. W przypadku magazynowania w gruncie, bardzo wyraźny i ważny jest wpływ zawartości wody. Większa jej zawartość podwyższa pojemność cieplną, ale również ciepło może łatwo „ucieć” wraz z odpływającą/infiltrującą w głąb gruntu wodą.

Generalnie przyjmuje się, iż efektywna pojemności cieplna gruntu wynosi 2,5 do 3,3 $\text{MJ}/(\text{m}^3 \text{ K})$ [13].

Maksymalnie upraszczając, do obliczenia objętości zasobnika wykorzystamy znany wzór na ciepło pochłonięte przez układ termodynamiczny (w naszym przypadku zasobnik). Gdy gromadzenie ciepła wynika z pojemności cieplnej medium magazynującego, to:

$$Q = mc_p(\vartheta_h - \vartheta_l), \quad J \quad (1)$$

gdzie

$m = \rho V$ - masa zasobnika, kg (czynnika gromadzącego energię),

c_p - pojemność cieplna właściwa czynnika, $\text{J}/(\text{kg deg})$,

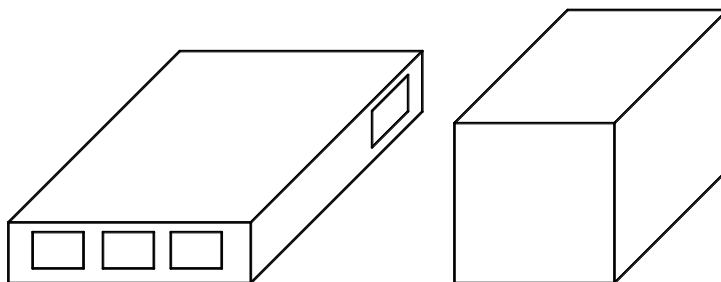
ϑ_h, ϑ_l - temperatury: maksymalna (górną) i minimalna (dolną) czynnika w zasobniku.

Pojemność cieplna właściwa wody w niewielkim stopniu zależy od temperatury [4]. W dalszych obliczeniach przyjmujemy stałą wartość $c_p = 4179 \text{ J}/(\text{kg deg})$ (wartość dla 50°C). Gęstość wody wraz ze wzrostem temperatury maleje (od $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ dla 0°C do $960 \text{ kg}/\text{m}^3$ dla temperatur bliskich 100°C). Do dalszych obliczeń przyjmujemy gęstość $\rho = 988 \text{ kg}/\text{m}^3$ (również dla 50°C).

Temperaturowy zakres pracy dla wody to teoretycznie $0\text{-}100^\circ\text{C}$. Aby jednak woda nie odparowała (i nie zrobił się zbiornik ciśnieniowy) górną granicę należy obniżyć, np. do 80°C . Dolną granicę również można obniżyć przez dodatki obniżające temp. zamarzania.

Przyjmujemy (rozdział 3), iż zapotrzebowanie na ciepło w budynku jednorodzinnym wynosi $16,4 \text{ MWh}$ ($=59040 \text{ MJ}$, uwzględniamy przegrody zewnętrzne z oknami + wentylacja + c.w.u.). Aby zgromadzić taką ilość ciepła w zasobniku z wodą, to zgodnie z zależnością (1), przy temp. górnej i dolnej odpowiednio 80 i 30°C , jego objętość powinna wynosić 286 m^3 . Otrzymana objętość jest bardzo duża, większa od kubatury rozpatrywanego domu. Widzimy, iż należy wybudować zasobnik (=drugi dom – rys. 2), z którego będzie uciekało więcej ciepła niż z domu właściwego (bo temp. zdecydowanie wyższa); chyba, że zasobnik będzie le-

piej zaizolowany... Stop. To może lepiej poprawić izolację termiczną samego domu? Widać wyraźnie, iż dla indywidualnego inwestora, wymagana objętość zasobnika jest zbyt duża.



Rys. 2. Porównanie kubatury domu i sezonowego zasobnika ciepła

Objętość zbiornika będzie tym mniejsza, im mniejsze jest zapotrzebowanie na ciepło. W pracy [25] analizowano budynek niskoenergetyczny o powierzchni 140 m^2 i zapotrzebowaniu na ciepło wynoszącym 6440 kWh/rok . Do zgromadzenia odpowiedniej ilości ciepła wystarczyłby zbiornik o objętości 110 m^3 (i współczynnika przenikania ciepła przez ścianki nie większym od $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$). Potrzebne byłoby również 20 m^2 kolektorów próżniowych i pompa ciepła.

Temperaturowy zakres pracy zasobnika będzie dużo węższy (mniejsza różnica temperatur $(\vartheta_h - \vartheta_l)$), gdy chcielibyśmy, aby ciepło przepływało „samoistnie/samoczynnie”, czyli od temperatury wyższej do niższej. Aby to miało miejsce, temperatura w zasobniku powinna być zawsze wyższa od temperatury zasilania instalacji grzewczej i niższa od temperatury źródła ciepła (czynnika obiegowego w kolektorze słonecznym). Takie rozwiązanie, aczkolwiek możliwe skutkowałoby wzrostem objętości zasobnika potrzebnym dla zgromadzenia takiej samej ilości ciepła. Temperatury czynnika grzewczego w niskotemperaturowej instalacji wewnętrznej to $45/25\text{-}35^\circ\text{C}$ (zasilanie/powrót), a dla bardzo niskich temperatur - $35/25^\circ\text{C}$. Utrzymanie na zasilaniu z akumulatora ciepła temp. powyżej 45stC w całym sezonie grzewczym jest nie-realne (potrzebny byłby jeszcze większy zbiornik), więc pozostaje tylko instalacja pompy ciepła. Dzięki niej, wykonując dodatkową pracę (na szczęście niewielką) możemy „przetransportować” ciepło w odwrotnym kierunku (od źródła o temperaturze niższej do miejsca o temp. wyższej). Pompy ciepła są coraz częściej wykorzystywane do grzania czynnika w układzie centralnego ogrzewania. Podniesienie temperatury źródła dolnego (a tak będzie, gdy załadujemy akumulator) powoduje bardzo wyraźny wzrost sezonowego współczynnika wydajności dużo powyżej typowego, wynoszącego 2-4.

Gdy mamy już pompę ciepła (lub rozważamy jej montaż), to mamy (lub musimy wybrać) tzw. źródło dolne. Jeśli nie będzie to otaczające powietrze, tylko grunt, to jest on naszym zasobnikiem ciepła, z którego „czerpiemy” energię zimą. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby grunt dodatkowo podgrzać (doładować) latem.

Przyjmuje się, iż do głębokości ok. 10 m temperatura gruntu się zmienia (wyższa latem i niższa zimą), przy czym największe zmiany (gradient) są do głębokości ok. 5 m. Przykładowo na głębokości 2 m typowo temperatura zmienia się w zakresie 7 do 13⁰C [21]. Na głębokość 10-20 m praktycznie nie sięgają sezonowe oscylacje temperatury i temperatura gruntu wynosi typowo 1-2⁰C powyżej średniej rocznej temperatury w danym miejscu (średnia roczna z lat 1971-2000 temperatura dla Polski, poza terenami podgóorskimi i „biegunem zimna” w rejonie Suwałk, to 7-8⁰C [14]). Głębiej temperatura zaczyna rosnać – ok. 1⁰C na każde 35m [13].

4.2. Zasobnik gruntowy

Aktualnie „typowe” dolne, gruntowe źródła ciepła dla pomp ciepła c.o. dla odbiorców indywidualnych to wymiennik poziomy (kolektor ziemny) i sonda pionowa. Wymiennik poziomy jest zakopywany na głębokości 1,2-1,5 m, sonda pionowa może sięgać w głąb nawet na ponad 100 m (w Polsce przepisy różnią się dla otworów o głębokości do 100 m i powyżej [21]).

Ilość pobranej energii zależy od warunków gruntowo-wodnych, ale bardzo często przyjmuje się, iż wydajność poboru ciepła z ziemi wynosi 20 W/m² dla kolektora i 50 W/m – dla sondy [21]. Ciepło pobrane z gruntu w sezonie grzewczym jest naturalnie regenerowane latem (promieniowanie słoneczne, woda deszczowa itd.). Powierzchnia wymiennika (głębokość sondy) musi być tak dobrana aby nie nastąpiło „wyeksploatowanie” skutkujące gorszymi właściwościami (niższą temp.) w roku następnym. Można temu zapobiec „doładując” dodatkowo zasobnik.

Temperatura gruntu (zasobnika) po ogrzaniu to maksymalnie 40-50⁰C ale zazwyczaj poniżej 40⁰C (dla tzw. zasobników niskotemperaturowych [13]). Powyżej 50⁰C mamy do czynienia z zasobnikami wysokotemperaturowymi. Ze wzrostem temperatury oprócz strat ciepła rosną też problemy hydrochemiczne, biologiczne i geotechniczne.

4.3. Przepływ (ucieczka) ciepła

Ciepło samoistnie przepływa od źródła o temperaturze wyższej (naszego zbiornika – akumulatora ciepła) do miejsca o temperaturze niższej (otoczenia). Najprostsza zależność, jaką możemy zastosować do opisu tego zjawiska, to wzór na strumień przenikającego ciepła. Dla ścianki płaskiej jest to

$$\dot{Q} = AU(\vartheta_z - \vartheta_{ot}), \quad W \quad (2)$$

gdzie:

A - powierzchnia wymiany ciepła (w naszym przypadku zewnętrzna powierzchnia zasobnika),

U - wsp. przenikania ciepła, dla ścianki płaskiej równy ilorazowi λ/δ (wsp. przewodzenia ciepła podzielony przez grubość),

$\vartheta_z, \vartheta_{ot}$ - temperatury: wewnątrz i na zewnątrz zasobnika (otoczenia).

Jako ściankę w przypadku zasobnika z wodą będziemy rozumieli izolację cieplną, bo to ona ma największy udział w „zatrzymywaniu” ciepła. Współczynnik przewodzenia ciepła λ dla typowych materiałów izolacyjnych jest rzędu 0,04 W/(m K). Dużo trudniejsze jest określenie grubości izolacji w przypadku akumulatora gruntowego, którego generalnie nie izolujemy cieplnie, ale za izolację możemy uważać otaczający (bardziej odległy) grunt. Dla gruntu współczynnik przewodzenia ciepła λ wynosi od 2 do 5 W/(m K) [13]. Jest tym większy, im większa jest zawartość wilgoci (wody). Trzeba też pamiętać, że przepływająca woda błyskawicznie „zabierze” ze sobą zgromadzone w akumulatorze ziemnym ciepło.

Wymiana ciepła między zasobnikiem a otoczeniem jest nieustalona w czasie (m.in. temperatura w zasobniku się obniża). Aby nie zmuszać czytelnika do rozwiązywania różniczkowego równania Fouriera-Kirchhoffa, można zaproponować pętlę obliczeniową z „krokiem” miesięcznym. Z zależności (2), przemnożonej przez miesiąc (259200s) uzyskamy ciepło tracone do otoczenia. Następnie z zależności (1) wyznaczmy temperaturę końcową (po miesiącu), która będzie temperaturą zasobnika w kolejnym kroku. Sześciokrotne powtórzenie obliczeń da nam w wyniku ciepło stracone (oddane do otoczenia) i temperaturę końcową w zasobniku po pół roku. Dla sześciennego zbiornika o objętości $V=286 \text{ m}^3$ (bok 6,6 m i powierzchnia boczna 261 m^2), zaizolowanego izolacją o grubości $\delta=0,3 \text{ m}$ i wsp. przewodzenia ciepła $\lambda=0,04 \text{ W/(m K)}$, przy temp. początkowej w zbiorniku wynoszącej 80°C i stałej temp. otoczenia 5°C , w ciągu 6 miesięcy „ucieknie” ponad 9,34 MWh ciepła zgromadzonego (blisko 57 %). Temperatura końcowa wody w zasobniku wyniesie ok. $51,5^\circ\text{C}$. Czytelnik może w powyższy sposób łatwo przeprowadzić obliczenia dla interesującego go przypadku, również zmieniając dodatkowo temperaturę otoczenia czy uwzględniając inne zaizolowanie zbiornika.

Widzimy, że dla zbiornika o analizowanej objętości straty ciepła będą bardzo istotne i przy ich uwzględnieniu zbiornik gromadzący ciepło „na zimę” powinien być jeszcze większy.

Im większy zbiornik, tym stosunek powierzchni zewnętrznej do objętości jest mniejszy (korzystniejszy) – tablica 1.

Tablica 1. Powierzchnia boczna, objętość i ich iloraz dla sześcianu

Objętość V	Powierzchnia boczna P	P/V
1	6,00	6,00
10	27,81	2,78
100	128,87	1,29
1000	597,24	0,60
10000	2767,90	0,28
100000	12827,77	0,13
1000000	59449,92	0,06

Współczynnik przewodzenia ciepła λ dla materiałów izolacyjnych rośnie (pogarsza się) nie tylko wraz z zawilgoceniem, ale (o wiele mocniej) ze wzrostem temperatury. Było to często powodem, iż rzeczywiste straty ciepła były (są) większe od przewidywanych [16].

4.4. Przykłady sezonowego magazynowania ciepła

Temat sezonowego magazynowania ciepła nie jest nowy. W Europie pierwsze (demonstracyjne) instalacje zrealizowano w Szwecji pod koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Pod koniec XX wieku uruchomiono kilka dużych magazynów w Niemczech [24]. Ich objętości wynoszą od 1000 m³ do 63000 m³, czyli służą odbiorcą większym niż dom jednorodzinny. Im większa objętość zasobnika, tym jednostkowy (1 m³ magazynu) koszt inwestycyjny jest niższy. Zrealizowane inwestycje w większości wykorzystują pojemność cieplną wody lub gruntu.

Projektowane w Niemczech instalacje z dużymi sezonowymi zasobnikami ciepła zakładają, iż udział pozyskanej energii słonecznej w całkowitej energii wytworzonej przez system (czyli z kotłem konwencjonalnym) wynosi ok. 50% [2].

Również w Polsce mamy kilka zasobników sezonowych (jednak o zdecydowanie mniejszej skali): w Ząbkach – o pojemności 809 m³ [12], czy w Borowej Górze – objętość gruntu 16500 m³ [17].

Z istniejących rozwiązań na uwagę zasługuje na pewno pomysł magazynowania ciepła w gruncie pod budynkiem – Isomax [6] czy autonomiczny dom dostępny [1].

5. RACHUNEK EKONOMICZNY

Na pierwszy rzut oka widać, iż analizowane rozwiązania (duże powierzchnie kolektorów, zasobnik o kubaturze domu) nawet bez podawania konkretnej wartości liczbowej, będą bar-

dzo kosztowne inwestycyjnie. Przy dzisiejszych cenach (zwłaszcza paliw węglowych w Polsce) taka inwestycja ekonomicznie nie jest opłacalna. Może w przyszłości, gdy wzrośnie świadomość ekologiczna i bogactwo naszego społeczeństwa, gdy rozwój „technologii” i liczby wykonanych instalacji obniży ich koszt a ceny paliw kopalnych wzrosną, to ta sytuacja się zmieni.

We wspomnianej wcześniej pracy [25] koszt energii elektrycznej do napędu pompy ciepła byłby wyższy od kosztu ogrzewania węglem (również drewnem), jednak niższy od kosztu ogrzewania gazem. Według autorki prosty czas zwrotu nakładów SPBT wynosił by minimum 21 lat.

6. PODSUMOWANIE

Akumulacja ciepła będzie tym bardziej opłacalna, im więcej będziemy mieli „darmowej” energii – czyli wszędzie tam, gdzie mamy energię odpadową pozyskiwaną „bezkosztowo”.

W domu jednorodzinnym spełniającym aktualne wymagania co do izolacyjności przegród należy przewidzieć:

- powierzchnię kolektorów słonecznych potrzebną do „pozyskania” odpowiedniej ilości ciepła od Słońca kilkadziesiąt m²,
- dla sezonowego gromadzenia ciepła w zbiorniku z wodą wymagana jest jego duża objętość, dla indywidualnych zastosowań praktycznie nie do uzyskania.

Przy budynku wykonanym w standardzie pasywnym potrzebny zasobnik będzie kilkakrotnie mniejszy. Wskaźnik powierzchnia do objętości jest tym mniejszy (lepszy) im większy jest zbiornik. Ze wzrostem pojemności maleją jednostkowe (na 1m³) straty ciepła oraz koszty magazynowania (uwzględniające koszt inwestycji).

W zrealizowanych inwestycjach, zapewne w wyniku optymalizacji ekonomicznej, stosowane są zbiorniki o pojemności tylko częściowo pokrywającej całosezonowe zapotrzebowanie na ciepło. Nadal potrzebne jest „szczytowe” źródło ciepła uzupełniające niedobory.

Prostszym i tańszym rozwiązaniem niż zasobnik z wodą wydaje się wykorzystanie jako akumulatora wymiennika gruntowego dolnego źródła ciepła dla pompy ciepła. Należy jednak zaznaczyć, że jego objętość powinna być kilkakrotnie większa dla zgromadzenia tej samej ilości ciepła.

LITERATURA

- [1] Autonomiczny dom dostępny, <http://www.domadd.pl/technologie/instalacje/gruntowy-zasobnik-ciepla>.
- [2] Bauer D., Marx R., Nussbisker-Lux J., Ochs F., Heidemann W., Muller-Steinhagen H.: *German central solar heating plants with seasonal heat storage*. Solar Energy 84 (2010) 612-623.
- [3] *Efektywność wykorzystania energii w latach 2004-2014*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2016.
- [4] Furbo S.: *Using water for heat storage in thermal energy storage (TES)* w Cabeza L.F. (ed.) *Advances in Thermal Energy Storage Systems*, Woodhead Publishing 2015.
- [5] Global Solar Atlas, <http://globalsolaratlas.info>.
- [6] ISOMAX-TERRASOL Technologies, <http://www.isomax-terrasol.eu/en/technologie.html>.
- [7] Kalkulator HeatMaster, <http://ziemianarozdrozu.pl/apps/HM/Heatmaster.html>.
- [8] Kępa A.: *Jak obniżyć koszty ogrzewania domu?* Rynek Ciepła 2012. Materiały i studia, Wydawnictwo Kaprint 2012, str. 53-61.
- [9] Kępa A.: *Możliwości zmniejszenia wydatków związanych z ciepłą wodą użytkową*. Rynek Energii Nr 4(119) 2015, str. 35-41.
- [10] Kępa A.: *Okna w budynkach - zyski czy straty ciepła?* Rynek Energii Nr 4 (107) 2013, str. 74-79.
- [11] Kępa A.: *Strata ciepła na wentylację i sposoby jej zmniejszenia*. Rynek Energii Nr 5 (114) 2014, str. 50-57.
- [12] Koziół Ł., Badyda K., Jaworski A.: *Demonstracyjna instalacja solarna z sezonowym magazynem ciepła zaimplementowana w szpitalu w Żąbkach*, Instal 12/2015.
- [13] Kun Sang Lee: *Underground Thermal Energy Storage*, Springer-Verlag London 2013.
- [14] Lorenc Halina (red.) *Atlas klimatu Polski*, Instytut Metrologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005.
- [15] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422).
- [16] Ochs F., Heidemann W., Muller-Steinhagen H.: *Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of temperature*, International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 539-552.
- [17] Passive House Institute, http://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm.
- [18] PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- [19] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.

- [20] Podręcznik architekta, projektanta i instalatora. *Kolektory słoneczne*. Viessmann Werke, 2013.
- [21] Podręcznik architekta, projektanta i instalatora. *Pompy ciepła*. Viessmann Werke, 2013.
- [22] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376).
- [23] Rudniak J., Sekret R.: *Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego a magazynowanie ciepła*, Rynek Energii Nr 6 (121) 2015, str. 86-92.
- [24] Schmidt T., Mangold D., Muller-Steinhagen H.: *Seasonal thermal energy storage in Germany*, ISES Solar World Congress 2003.
- [25] Stanisław K.: *Ogrzewanie budynku pompą ciepła współpracującą z wodnym akumulatorem ciepła*, Instal 4/2012, str. 34-38.
- [26] Urbaniak D., Wyleciał T., Wyczółkowski R., Starczyk R.: *Możliwości wykorzystania solarów na przykładzie ciepłowni akademickiej*, Rynek Energii Nr 5 (114) 2014, str. 58-62.
- [27] Wita A., Balcerzak A., Mirosław-Świątek D.: *System grzewczy z gruntowym akumulatorem energii cieplnej – wyniki eksperymentów*, XIV Konferencja Naukowa – Korbiewów 2002 Metody Komputerowe w Projektowaniu i Analizie Konstrukcji Hydrotechnicznych.

SEASONAL HEAT RESERVOIR FOR SINGLE-FAMILY HOUSE

Key words: heating, seasonal heat energy accumulator

Summary. Heat energy for heating purposes does not have to be of high quality (high temperature). A few dozen degrees Celsius is enough. The mediums of such temperature (i.e. potential sources) are quite a lot in our surroundings. All we have to do is to look for a fan coolers (even the smallest ones - in air conditioning units) or a solar collectors on roofs. At the same time, due to better insulation of the buildings, the heat demand for heating purposes decreases. It is natural to ask that is it possible to accumulate heat when we have its surplus (very often in summer) to use it later (in winter)? The answer is – yes. We only need a seasonal heat accumulator. At the outset it should be noted that the issue of this study is to collect heat in the scale of single-family house, which could be made by the individual investor. The article discusses the heat storage methods currently available "on the market" and cites the simplest equations that will allow to calculate the size of accumulator.

Arkadiusz Kępa, dr inż. - adiunkt w Zakładzie Kotłów i Termodynamiki Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej. e-mail: a_kepa@imc.pcz.czest.pl