

Bartosz SAŁACIŃSKI
Vyacheslav PISAREV
Politechnika Rzeszowska

BADANIA NIEUSTALONEGO PRZEWODZENIA CIEPŁA W CIENKOWARSTWOWYM BETONOWYM AKUMULATORZE ENERGII PRZY JEDNOCZESNYM ODDZIAŁYWANIU PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO I KONWEKCYJNEJ WYMIANIE CIEPŁA

W artykule przedstawiono wyniki symulacji nieustalonego, jednowymiarowego przewodzenia ciepła w betonowym, cienkowarstwowym akumulatorze energii. Symulacje wykonane zostały w programie „Akumulator” dla czterech miesięcy roku. Obliczenia uwzględniały, że akumulator poddawany jest jednoczesnemu działaniu zewnętrznego promieniowania słonecznego oraz konwekcyjnej wymianie ciepła.

1. Wstęp

Wyznaczenie wewnętrznego rozkładu temperatur w cienkowarstwowym, betonowym akumulatorze ciepła pozwala na oszacowanie zgromadzonego w nim potencjału energetycznego, który może być efektywnie wykorzystany w instalacjach sanitarnych. Jego wartość jest uzależniona m.in. od warunków temperaturowych otoczenia, jak i zmiennego w czasie natężenia promieniowania słonecznego oddziałującego na akumulator. Przedmiotem niniejszej analizy było przeprowadzenie za pomocą programu „Akumulator” [1, 2] symulacji nieustalonego, jednowymiarowego przewodzenia ciepła w cienkowarstwowym akumulatorze betonowym z uwzględnieniem czterech miesięcy obliczeniowych (grudzień, marzec, czerwiec, wrzesień). Celem analizy było określenie, na podstawie uzyskanych wyników, jednostkowych ilości ciepła, które gromadzone są w cienkowarstwowym akumulatorze betonowym. Na tej podstawie, w zależności od zapotrzebowania na ciepło, określać można ich wymiary.

2. Parametry obliczeniowe

Dalej przedstawione zostały założone przez autorów parametry akumulatora i otoczenia, wzięte pod uwagę w przeprowadzonych obliczeniach:

- z uwagi na konieczność wyznaczenia wartości natężenia promieniowania słonecznego przyjęto, że obliczenia prowadzone będą dla współrzędnych geograficznych miasta Rzeszów,
- współczynnik absorpcyjności promieniowania $Ab = 0,75$ [3],
- akumulator jest murem (pochłanianie ciepła z otoczenia poprzez obydwie płaszczyzny: frontową i tylną),
- $\gamma = 0^\circ$ – kąt odchylenia frontowej płaszczyzny akumulatora od kierunku południowego,
- $\beta = 90^\circ$ – kąt odchylenia frontowej płaszczyzny elementu od poziomu,
- okres trwania symulacji każdorazowo rozpoczynał się o pierwszej godzinie słonecznej w danym miesiącu, a kończył zawsze o godz. 21.00,
- zmienne w czasie temperatury otoczenia zewnętrznego dla poszczególnych miesięcy przyjęto, opierając się na danych normatywnych zawartych w PN-76/B-03420 [4]. W tabeli 1. zestawiono wartości temperatur w miesiącach letnich dla II strefy klimatycznej, w której znajduje się analizowany obszar miasta Rzeszowa.

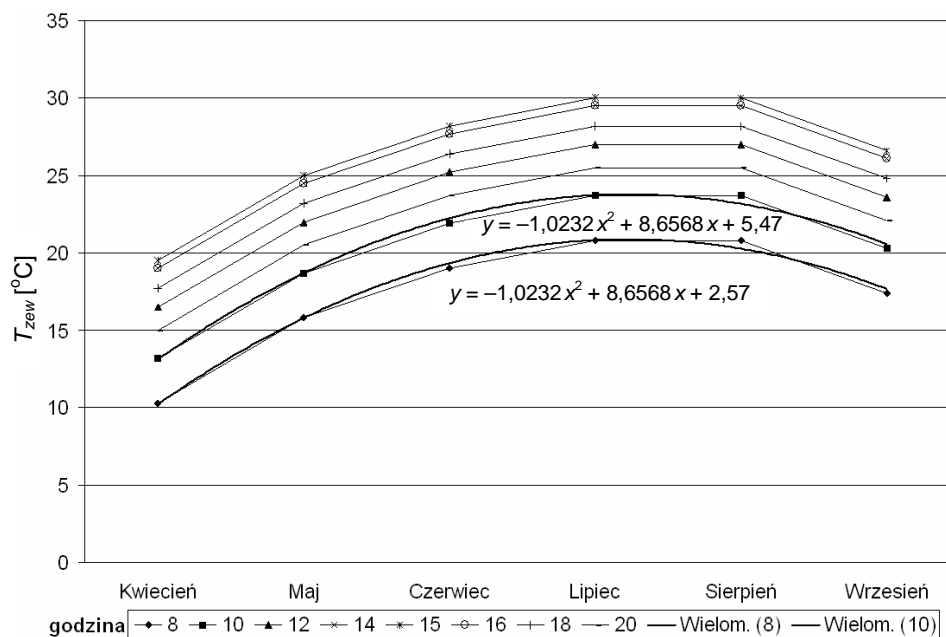
Tabela 1. Wartości temperatur zewnętrznych T_{zew} według termometru suchego dla II strefy klimatycznej

Miesiąc	Godzina							
	8.00	10.00	12.00	14.00	15.00	16.00	18.00	20.00
Kwiecień	10,3	13,2	16,5	19,0	19,5	19,0	17,7	15,0
Maj	15,8	18,7	22,0	24,5	25,0	24,5	23,2	20,5
Czerwiec	19,0	21,9	25,2	27,7	28,2	27,7	26,4	23,7
Lipiec	20,8	23,7	27,0	29,5	30,0	29,5	28,2	25,5
Sierpień	20,8	23,7	27,0	29,5	30,0	29,5	28,2	25,5
Wrzesień	17,4	20,3	23,6	26,1	26,6	26,1	24,8	22,1

Opracowano na podstawie normy [4].

Jako że tab. 1. zawiera dane jedynie dla dwóch z czterech rozpatrywanych w niniejszej analizie miesięcy (czerwca i września), autorzy, posługując się graficznym rozkładem powyższych wartości (rys. 2.), wyznaczyli funkcje opisujące linie trendu rozkładu temperatur (tab. 2.). Umożliwiło to wyznaczenie wartości T_{zew} dla brakującego okresu (tab. 3.).

Na rysunku 1. zaznaczono dodatkowo dwie linie trendu (wielomiany stopnia drugiego) dla godzin 8.00 i 10.00 oraz pokazano równanie opisujące każdą z nich. Równania dla pozostałych godzin zestawiono w tab. 2.



Rys. 1. Rozkład temperatur powietrza zewnętrznego w poszczególnych miesiącach. Opracowano na podstawie normy [4]

Tabela 2. Równania linii trendu (wielomianów stopnia drugiego) opisujące rozkład temperatur przedstawionych na rys. 1.

Część wspólna wielomianu dla wszystkich godzin					$y = -1,0232x^2 + 8,6568x + m$			
Godzina	8.00	10.00	12.00	14.00	15.00	16.00	18.00	20.00
Wartość zmienna wielomianu m	2,57	5,47	8,77	11,27	11,77	11,27	9,97	7,12
Miesiąc	x							
Styczeń	-2							
Luty	-1							
Marzec	0							
Kwiecień	1							
Maj	2							
Czerwiec	3							
Lipiec	4							
Sierpień	5							
Wrzesień	6							
Październik	7							
Listopad	8							
Grudzień	9							

Tabela 3. Wartości temperatur zewnętrznych T_{zew} obliczone przez autorów na podstawie normy [4]

Miesiąc	Godzina												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Styczeń	-18,8	-17,4	-15,9	-14,3	-12,6	-11,4	-10,1	-9,6	-10,1	-10,8	-11,4	-12,6	-14,3
Luty	-7,1	-5,7	-4,2	-2,6	-0,9	0,3	1,6	2,1	1,6	0,9	0,3	-0,9	-2,6
Marzec	2,6	4,0	5,5	7,1	8,8	10,0	11,3	11,8	11,3	10,6	10,0	8,8	7,1
Kwiecień	10,3	11,8	13,2	14,9	16,5	17,8	19,0	19,5	19,0	18,4	17,7	16,4	15,0
Maj	15,8	17,3	18,7	20,4	22,0	23,3	24,5	25,0	24,5	23,9	23,2	21,9	20,5
Czerwiec	19,0	20,5	21,9	23,6	25,2	26,5	27,7	28,2	27,7	27,1	26,4	25,1	23,7
Lipiec	20,8	22,3	23,7	25,4	27,0	28,3	29,5	30,0	29,5	28,9	28,2	26,9	25,5
Sierpień	20,8	22,3	23,7	25,4	27,0	28,3	29,5	30,0	29,5	28,9	28,2	26,9	25,5
Wrzesień	17,4	18,9	20,3	22,0	23,6	24,9	26,1	26,6	26,1	25,5	24,8	23,5	22,1
Październik	13,0	14,5	15,9	17,6	19,2	20,4	21,7	22,2	21,7	21,1	20,4	19,2	17,6
Listopad	6,3	7,8	9,2	10,9	12,5	13,7	15,0	15,5	15,0	14,4	13,7	12,5	10,9
Grudzień	-2,4	-0,9	0,5	2,2	3,8	5,0	6,3	6,8	6,3	5,7	5,0	3,8	2,2

Pozostałe parametry zakładane w obliczeniach są następujące:

- średnie temperatury początkowe akumulatora dla poszczególnych miesięcy określano, uwzględniając ekstrapolacje wartości z tab. 3. dla rozpatrywanych miesięcy obliczeniowych i wyznaczając temperaturę powietrza w pierwszej słonecznej godzinie danego miesiąca. Wartości przyjęte do obliczeń są następujące: $T_{sr_p_grudz.} = -5^{\circ}\text{C}$, $T_{sr_p_marz.} = -1,5^{\circ}\text{C}$, $T_{sr_p_czerw.} = 10^{\circ}\text{C}$, $T_{sr_p_wrzes.} = 8^{\circ}\text{C}$,
- współczynnik wnikania ciepła do akumulatora dla wszystkich miesięcy $\alpha_{zew} = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$,
- $b = 0,2 \text{ m}$ – grubość akumulatora,
- właściwości fizyczne betonu: $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ – gęstość, $c_p = 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ – właściwa pojemność cieplna, $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$ – współczynnik przewodzenia ciepła,
- skok czasowy $\Delta\tau = 5 \text{ s}$, odstęp między węzłami $\Delta x = 0,005 \text{ m}$ (parametry kluczowe dla metody różnic skończonych wykorzystywanej w programie do obliczeń).

W tabelach 4. i 5. zamieszczono wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego dla poszczególnych godzin rozpatrywanych miesięcy obliczeniowych kolejno na płaszczyznę frontową (zwróconą na południe) i tylną (zwróconą na północ). Zostały one wyznaczone za pomocą programu „Akumulator” [1].

Tabela 4. Wielkości całkowitego promieniowania słonecznego na płaszczyznę frontową brane pod uwagę w obliczeniach (bez uwzględnienia współczynnika absorpcji promieniowania przez akumulator cienkowarstwowy $Ab = 0,75$) [1]

Miesiąc	Godzina																Σ
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego q_s [W/m ²]																
Grudzień	-	-	-	217	316	386	421	420	382	309	208	-	-	-	-	-	886
Marzec	-	33	220	372	499	592	646	656	621	544	431	288	127	3	-	-	2725
Czerwiec	25	76	130	189	323	432	510	551	552	514	439	331	199	134	80	29	3009
Wrzesień	-	-	94	254	397	513	594	635	632	587	502	383	238	77	1	-	2658

Tabela 5. Wielkości całkowitego promieniowania słonecznego na płaszczyznę tylną brane pod uwagę w obliczeniach (bez uwzględnienia współczynnika absorpcji promieniowania przez akumulator cienkowarstwowy $Ab = 0,75$); pogrubione wartości wskazują na obecność składowej bezpośredniej promieniowania [1]

Miesiąc	Godzina																Σ
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego q_{sl} [W/m ²]																
Grudzień	-	-	-	37	102	148	171	170	145	98	31	-	-	-	-	-	301
Marzec	-	15	78	142	196	235	258	262	247	215	167	107	39	2	-	-	1065
Czerwiec	310	265	219	181	228	266	293	307	308	295	268	231	185	215	262	307	2760
Wrzesień	-	11	44	102	155	197	227	242	241	225	194	151	98	39	13	-	1043

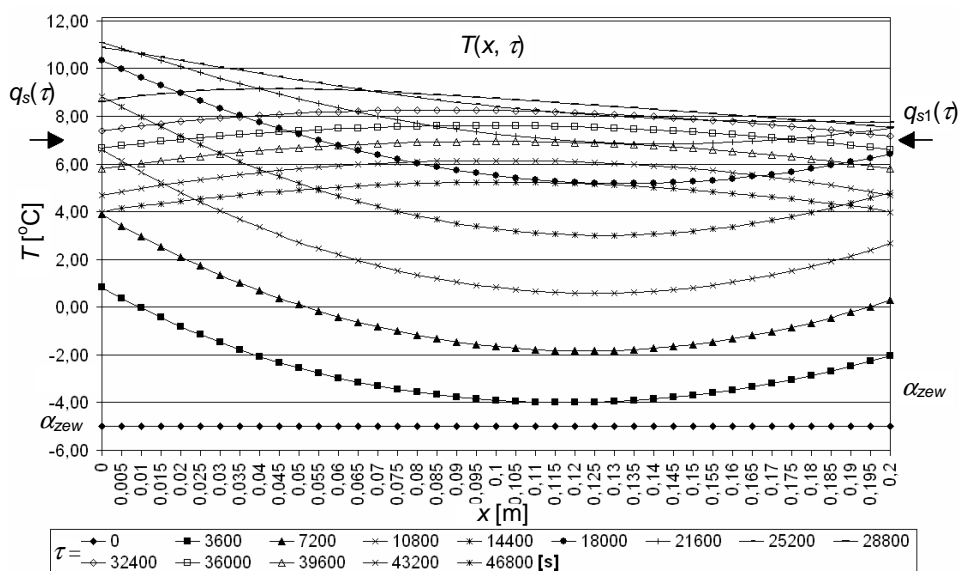
Metody obliczeniowe wykorzystywane w programie do poszczególnych etapów kalkulacji nie stanowią przedmiotu niniejszego referatu i zostały szczegółowo opisane w innych pozycjach [1, 2, 5]. Dobowe wartości promieniowania dla poszczególnych miesięcy wyrażone w [Wh/m²·d] zostały obliczone ze wzoru:

$$\Sigma = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} q_s \cdot n}{24} \text{ [Wh/m}^2 \cdot \text{d]} \quad (1)$$

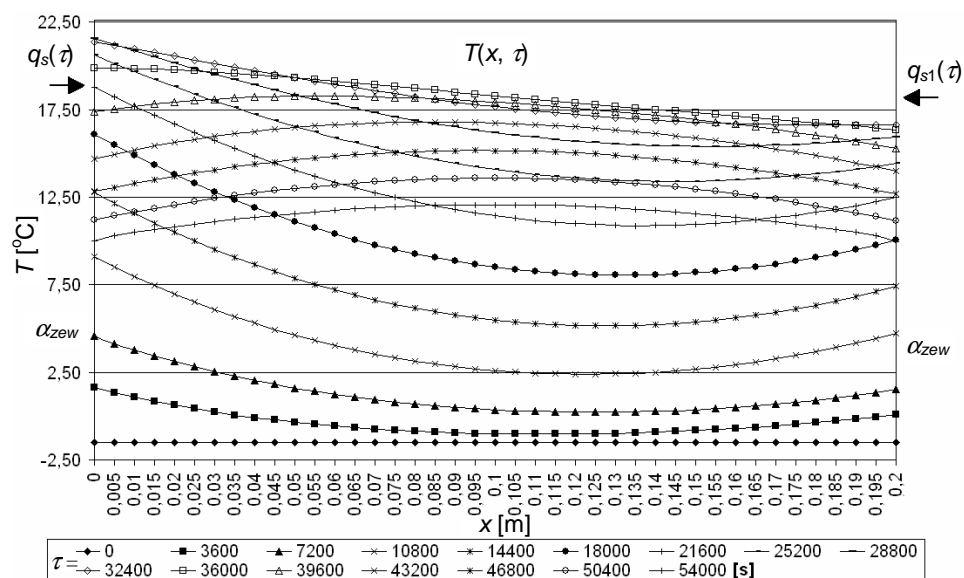
gdzie: n – liczba godzin słonecznych w dniu (dla danego miesiąca),
 q_s – wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego [W/m²].

3. Rezultaty obliczeń

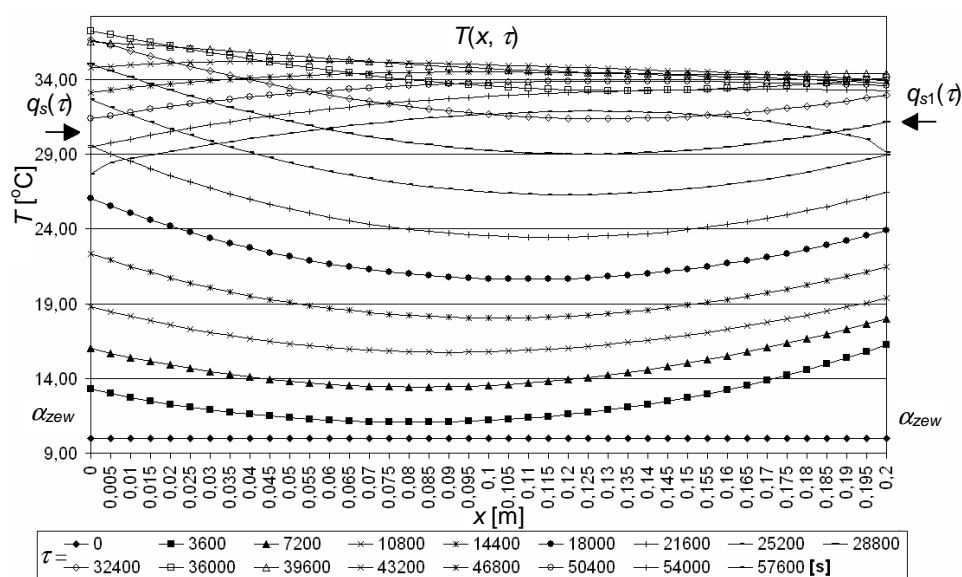
W wyniku przeprowadzonych symulacji procesu pochłaniania energii przez cienkowarstwowy akumulator betonowy, dla wymienionych wcześniej założeń otrzymano wyniki, których graficzną interpretację przedstawiono na rys. 2-5. Rysunki te obrazują zakresy zmian temperatur $T(x, \tau)$, jakie zachodzą we wnętrzu rozpatrywanego akumulatora w poszczególnych godzinach branego pod uwagę dla danego miesiąca przedziału czasowego. We wszystkich przypadkach (rys. 2-5) wartość $x = 0$ m oznacza płaszczyznę akumulatora zwróconą ku kierunkowi południowemu S, natomiast $x = 0,2$ m charakteryzuje płaszczyznę tylną zwróconą ku północy N. Oznaczenia pod rys. 2-5 odpowiadają wyrażonym w sekundach wartościom czasu τ , dla których wykreślone zostały poszczególne krzywe rozkładu temperatur. Na rysunkach 2-5 czarnymi strzałkami zaznaczono również, na którą z powierzchni oddziaływało promieniowanie słoneczne ($q_s(\tau)$ – strumień promieniowania na płaszczyznę zwróconą ku południu, tab. 4., $q_{s1}(\tau)$ – strumień promieniowania na płaszczyznę zwróconą ku północy, tab. 5.



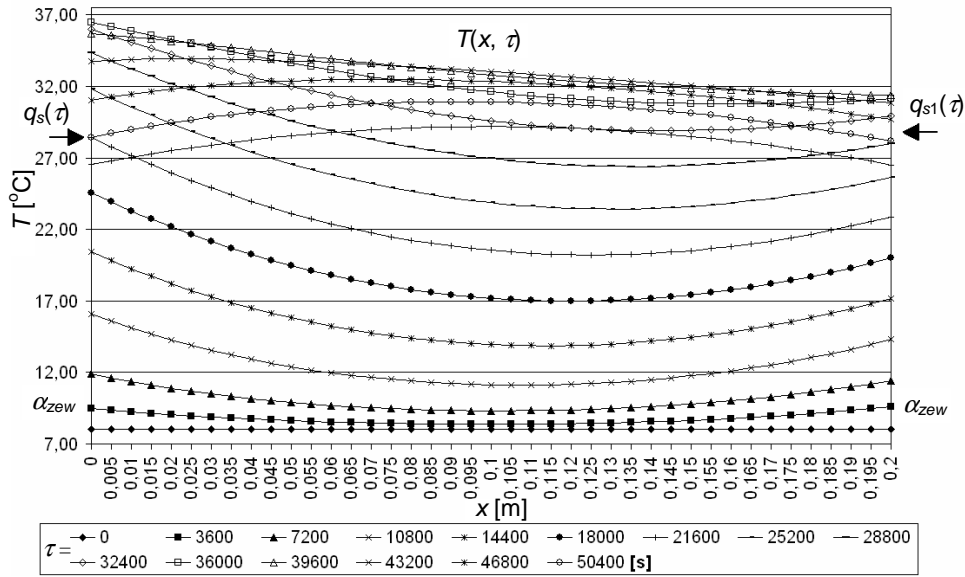
Rys. 2. Rozkład temperatur w rozpatrywanym cienkowarstwowym akumulatorze betonowym w poszczególnych godzinach symulacji dla grudnia (czas $\tau = 0$ s reprezentuje godz. 8.00, zaś $\tau = 28800$ s – godz. 21.00)



Rys. 3. Rozkład temperatur w rozpatrywanym cienkowarstwowym akumulatorze betonowym w poszczególnych godzinach symulacji dla marca (czas $\tau = 0$ s reprezentuje godz. 6.00, zaś $\tau = 46800$ s – godz. 21.00)



Rys. 4. Rozkład temperatur w rozpatrywanym akumulatorze betonowym w poszczególnych godzinach symulacji dla czerwca (czas $\tau = 0$ s reprezentuje godz. 5.00, zaś $\tau = 57600$ s – godz. 21.00)



Rys. 5. Rozkład temperatur w rozpatrywanym akumulatorze betonowym w poszczególnych godzinach symulacji dla września (czas $\tau = 0$ s reprezentuje godz. 6.00, zaś $\tau = 50400$ s – godz. 21.00)

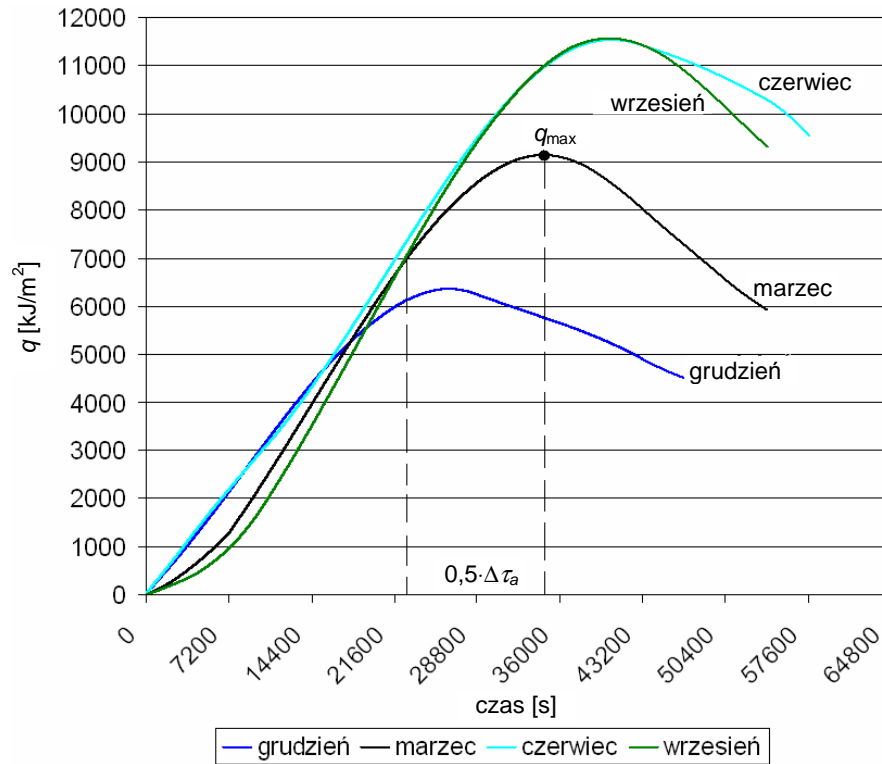
W przeprowadzonych symulacjach uwzględniano, że zarówno wartości temperatury powietrza zewnętrznego T_{zew} , jak i natężenia całkowitego promieniowania słonecznego q_s i q_{s1} ulegają ciągłej zmianie w czasie, co wartość kroku czasowego $\Delta\tau - T_{zew}(\tau)$, $q_s(\tau)$, $q_{s1}(\tau)$. Warunek ten odpowiada rzeczywistym zmianom tych wartości, mających miejsce w środowisku. Na przykładzie rys. 2-5 widać, jaki wpływ na rozkład temperatur wewnętrznych akumulatora mają przyjęte do obliczeń parametry środowiska (temperatury i wartości natężenia promieniowania słonecznego), mogące charakteryzować poszczególne miesiące obliczeniowe. Chodzi tu głównie:

- o różny czas osiągnięcia przez akumulator temperatur maksymalnych,
- o wartości temperatur maksymalnych,
- o zakresy zmian temperaturowych w akumulatorze (w stosunku do założonych dla poszczególnych miesięcy wartości średnich początkowych temperatur T_{sr_p}),
- o czas stopniowego trwania zaabsorbowanego ciepła.

Wartości liczbowe punktów wchodzących w skład poszczególnych krzywych na rys. 2-5 posłużyły do wyznaczenia jednostkowych wielkości energii q [kJ/m²] pochłoniętej przez cienkowarstwowy akumulator betonowy w rozpatrywanych, pełnych godzinach poszczególnych miesięcy obliczeniowych (rys. 6.). Obliczono je z następującego wzoru:

$$q = c_p \cdot \rho \cdot b \cdot (T_{sr}(\tau) - T_{sr_p}) \quad [\text{kJ/m}^2] \quad (2)$$

gdzie: c_p – pojemność cieplna właściwa betonu [kJ/kg·K],
 ρ – gęstość betonu [kg/m³],
 $T_{sr}(\tau)$ – średnia temperatura akumulatora w danej chwili τ [°C],
 $b = 0,2$ m – grubość analizowanego elementu,
 T_{sr-p} – średnia początkowa temperatura akumulatora [°C].



Rys. 6. Zestawienie wartości energii q pochłoniętej w rozpatrywanych godzinach przez cienkowarstwowy akumulator betonowy ($b = 0,2$ m) dla poszczególnych miesięcy (na podstawie wzoru (2)); $0,5 \cdot \Delta \tau_a$ – szacunkowy okres połowy czasu przetrzymania wartości energii $q = 7000$ kJ/m² dla marca, q_{\max} – wartość maksymalna dla marca

W każdym z przypadków przedstawionych na rys. 6., zakończenia wykresów niedochodzące do wartości $q = 0$ kJ/m² sugerują, że w porze nocnej, nieujętej w symulacji, energia skupiona w akumulatorze będzie ulegać dalszej konwekcyjnej utracie do otoczenia. Kształt krzywych na rys. 6. wynika z faktu, że dobowe rozkłady temperatur powietrza zewnętrznego i wielkości promieniowania słonecznego, pochodną których jest akumulowana energia, charakteryzują się wzrostem wartości od godzin porannych do południowych, osiągnięciem pewnego maksimum, a następnie stopniowym spadkiem wartości do okresu wieczornego. Patrząc na wykresy $q(\tau)$ (rys. 6.) dla poszczególnych miesięcy,

można zauważyć, że ich przebieg od wartości $q = 0 \text{ kJ/m}^2$ do $q = q_{\max}$ różni się w mniejszym (marzec, wrzesień) lub większym stopniu (grudzień, czerwiec) od części wykresu biegnącej od wartości q_{\max} (na prawo od maksimum). Choć założenie, że krzywe są symetryczne względem punktu q_{\max} , jest pewnym uproszczeniem i zaniża nieco wyniki (zwłaszcza dla grudnia), to zostało ono uwzględnione przez autorów. Dzięki temu dla danej wielkości q możliwe jest odczytywanie z rys. 6. przybliżonej połowy czasu jej przetrzymania w akumulatorze – $\approx 0,5 \cdot \Delta \tau_a$. Korzystając z tej zależności, sporządzono tab. 6., w której zestawiono orientacyjne wielkości q wraz z przybliżonymi czasami ich przetrzymania w rozpatrywanym cienkowarstwowym akumulatorze energii dla poszczególnych miesięcy.

Tabela 6. Zestawienie wartości jednostkowej energii q wraz z czasami jej przetrzymania w rozpatrywanym cienkowarstwowym akumulatorze energii ($b = 0,2 \text{ m}$) dla poszczególnych miesięcy (na podstawie wykresów z rys. 6.)

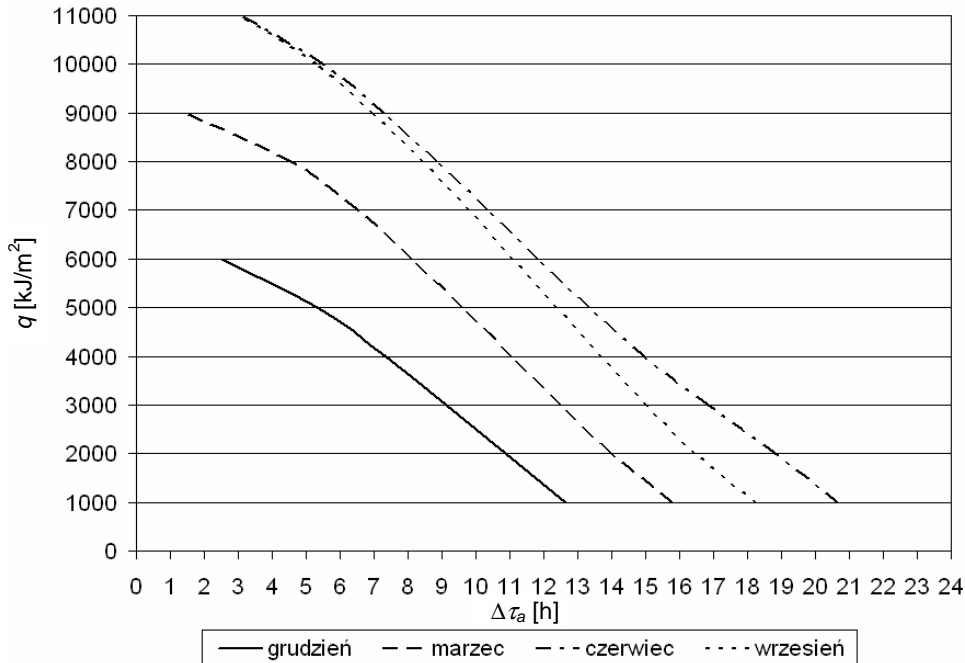
$q \text{ [kJ/m}^2\text{]}$	Przybliżony czas przetrzymania $\Delta \tau_a \text{ [h]}$			
	grudzień	marzec	czerwiec	wrzesień
1000	12,66	15,82	20,67	18,29
2000	10,86	14,03	18,84	16,48
3000	9,12	12,54	16,87	15,06
4000	7,34	11,1	15	13,73
5000	5,32	9,66	13,39	12,43
6000	2,52	8,17	11,87	11,14
7000	-	6,55	10,4	9,84
8000	-	4,59	8,9	8,49
9000	-	1,47	7,32	7
10000	-	-	5,5	5,33
11000	-	-	3,14	3,1

Dane zawarte w tab. 6. przedstawiono w sposób graficzny na rys. 7.

Położenie poszczególnych linii względem siebie (rys. 7.) jest konsekwencją występujących w danych miesiącach temperatur otoczenia zewnętrznego T_{zew} , wynikających z nich początkowych temperatur średnich akumulatora T_{sr-p} , a także długości i intensywności oddziaływania na akumulator strumienia całkowitego promieniowania słonecznego q_s i q_{s1} (tab. 4. i 5.). Te ostatnie są z kolei związane z usytuowaniem elementu (kątów β i γ) i roczną wędrówką Ziemi wokół Słońca. I tak np. na rys. 7. widać, że najwyższe wartości $q \text{ [kJ/m}^2\text{]}$ są używane dla uwzględnionych w obliczeniach danych we wrześniu i czerwcu, najniższe zaś w grudniu.

Na podstawie zamieszczonych wykresów można oszacować, że np. ilość energii $q = 3000 \text{ kJ/m}^2$ akumulator jest w stanie przetrzymać w ciągu całego roku przez ok. 9 godz., $q = 2000 \text{ kW/m}^3$ zaś – przez ok. 11 godz. Jak widać,

chcąc określać całoroczne wielkości parametru q , odpowiednich punktów odniesienia należy poszukiwać na krzywej położonej najniżej (w omawianym przypadku charakteryzuje ona grudzień). Wartości q dla danych czasów przetrzymania $\Delta\tau_a$ są charakterystyczne dla poszczególnych miesięcy.



Rys. 7. Wielkość zmagazynowanego ciepła q w zależności od czasu akumulacji (przetrzymania) $\Delta\tau_a$ w rozpatrywanym cienkowarstwowym akumulatorze betonowym ($b = 0,2$ m) dla poszczególnych miesięcy obliczeniowych

Wykresy na rys. 7. mogą być również wykorzystywane do określenia powierzchni bocznej akumulatorów w zależności od wielkości ciepła, które mają absorbować. Stosując wzór:

$$F = \frac{Q}{q} [\text{m}^2] \quad (3)$$

gdzie: F – kubatura akumulatora [m^3],

Q – ilość energii, jaką ma absorbować akumulator [kJ],

q – jednostkowy strumień energii absorbowany przez akumulator [kJ/m^2],

oraz dysponując zakładaną wielkością Q , odczytuje się z wykresu wartość q odpowiadającą interesującemu nas czasowi przetrzymania $\Delta\tau_a$, otrzymując tym samym wymaganą powierzchnię boczną akumulatora. Równocześnie należy

mieć na uwadze, że przy doborze poszczególnych wymiarów akumulatora powinno się zwracać uwagę na odpowiedni stosunek pomiędzy jego powierzchnią boczną (na nią bowiem oddziałuje promieniowanie) a grubością, która przez wzgląd praktyczny nie powinna mieć więcej niż około 0,2-0,4 m. Zgodnie z powyższym można stwierdzić, że chcąc akumulować w czerwcu np. $Q = 90000$ kJ przez $\Delta\tau_a = 8$ godz., uzyska się z rys. 7. wartość $q = 9000$ kJ/m², a zatem potrzebuje się powierzchni bocznej równej:

$$V = \frac{90000}{9000} = 10 \text{ m}^2 \quad (4)$$

4. Wnioski

Wyznaczenie na drodze symulacji komputerowej rozkładu temperatur w cienkowarstwowym akumulatorze betonowym pozwoliło na przeanalizowanie jego zachowania jako elementu absorbującego energię pochodzącą z konwekcyjnej wymiany ciepła i jednoczesnego pochłaniania promieniowania słonecznego. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono wykresy, które mogą służyć jako orientacyjne dane mówiące o ilościach energii jednostkowej q pochłanianej przez cienkowarstwowe akumulatory ciepła w różnych okresach roku. Dysponując konkretnymi wymiarami akumulatora, można dzięki temu oszacować wartości czasu przetrzymania potencjału energetycznego, jaki zostanie w nim skupiony. Uzyskane dane mogą także służyć do określenia wymiarów akumulatora w zależności od zakładanych potrzeb energetycznych. Obydwa aspekty mogą być przydatne w projektowaniu instalacji sanitarnych wykorzystujących źródła ciepła niskotemperaturowego.

Literatura

- [1] Sałaciński B., Pisarev V.: *Program do określania charakterystyk cieplnych cienkowarstwowych konstrukcji betonowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej (w druku).
- [2] Sałaciński B., Pisarev V.: *Porównanie komputerowo symulowanego i rzeczywistego trybu pracy cienkowarstwowego, betonowego akumulatora ciepła*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej (w druku).
- [3] <http://www.infratec.de/index.php?id=149&L=4> (stan na dzień 18.06.08).
- [4] Polska Norma PN-76/B-03420.
- [5] Sałaciński B., Pisarev V.: *Określenie temperatur w cienkowarstwowym akumulatorze betonowym przy jednoczesnym oddziaływaniu promieniowania słonecznego oraz konwekcyjnej wymianie ciepła*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej (w druku).
- [6] Pluta Z.: *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

**AN EXAMINATION OF TRANSIENT HEAT CONDUCTION
IN A THIN, CONCRETE ACCUMULATOR OF ENERGY
WITH SIMULTANEOUS INFLUENCE
OF THE SOLAR RADIATION AND CONVECTION**

S u m m a r y

The paper presents results of a transient, one dimensional heat conduction simulation in a thin, concrete accumulator of energy. The simulation was carried out using the "Accumulator" program regarding four months of the year. Calculations have also taken into account that the accumulator simultaneously receives energy from the solar radiation and convection (both parameters were constantly changing in time).

Złożono w Oficynie Wydawniczej w czerwcu 2008 r.