



Symulacja komputerowa wpływu materiału użytego na radiator służący do odprowadzania ciepła z procesora komputerowego

Ł. Wawrzynek^a, T. Bieg^a, T. Tański^b, M. Wiśniowski^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: lukaszwawrzynek@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: Tomasz.Tanski@polsl.pl, Maciej.Wisniowski@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analizy Metodą Elementów Skończonych odprowadzania ciepła z procesora komputerowego przy użyciu radiatora chłodzącego wykonanego z różnych materiałów. Przeprowadzono symulację przewodzenia ciepła przez radiator z procesora komputerowego i porównano wyniki w celu określenia najbardziej optymalnego materiału.

Abstract: The article presents the analysis of Finite Element Method of heat dissipation from the computer processor using a cooling heat sink made of different materials. Presents simulations of heat conduction by heat sink from CPU and compared the results to determine the most optimal material.

Słowa kluczowe: Metoda Elementów Skończonych, ANSYS, przewodność cieplna, CPU.

1. WSTĘP

Metoda elementów skończonych (MES) jest obecnie jedną z najczęściej stosowanych metod symulacji różnych problemów inżynierskich. Głównym atutem tej metody jest uniwersalność, polegająca na łatwości schematyzacji różnych obszarów o skomplikowanej geometrii, także niejednorodnych i anizotropowych, co kwalifikuje ją jako dobre narzędzie do modelowania różnych problemów [1]. Ogólnie MES jest pewną metodą rozwiązywania równań różniczkowych, cząstkowych po uprzedniej ich dyskretyzacji we właściwej przestrzeni. Dyskretyzację przeprowadza się lokalnie w małych obszarach o prostym, lecz dowolnym kształcie (zwanymi elementami skończonymi). Jest to typowo komputerowa metoda wyznaczania naprężeń, odkształceń, uogólnionych sił i przemieszczeń w analizowanej konstrukcji dowolnego rodzaju. Metoda ta opiera się na podziale układu na skończoną liczbę elementów. W obrębie każdego elementu dokonuje się pewnych aproksymacji, a niewiadome

są reprezentowane poprzez funkcje interpolacyjne za pomocą wartości tych funkcji w skończonej liczbie punktów, zwanych węzłami [2]. Obliczenia mogą być przeprowadzane w przestrzeni dwuwymiarowej, gdzie dyskretyzacja sprowadza się najczęściej do podziału obszaru na trójkąty. Rozwiązanie takie pozwala na obliczenie wartości pojawiających się w przekroju danego układu. Związane są z tym jednak pewne ograniczenia wynikające ze specyfiki rozwiązywanego problemu. Z uwagi na postęp techniki komputerowej w ostatnich latach większość pakietów symulacyjnych wyposażona jest w możliwość rozwiązywania zagadnień w przestrzeni trójwymiarowej. Dyskretyzacja zazwyczaj polega na podziale obszaru na czworokąty. Modelowanie takie pozbawione jest fundamentalnych ograniczeń technologii 2D, ale jest znacznie bardziej wymagające pod względem pamięci i mocy obliczeniowej komputera [1, 2].

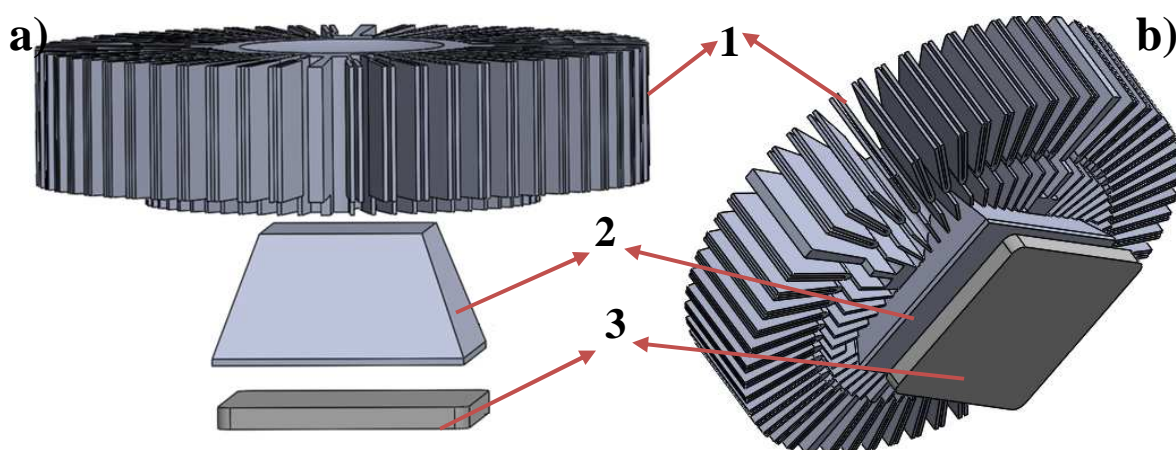
Problemy z przewodnością cieplną uniemożliwiają szybki rozwój mocy procesorów komputerowych oraz stanowią główną przyczyną awarii elektroniki [3].

Celem pracy jest porównanie efektywności odprowadzania ciepła przez radiatory z procesora komputerowego z zastosowaniem chłodzenia pasywnego bez dodatkowych elementów ruchomych, takich jak wentylatory. Do analizy wykorzystano trzy różne materiały inżynierskie do wytwarzania radiatorów.

2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań jest radiator (rysunek 1) stosowany do chłodzenia procesora komputerowego, który został wykonany na podstawie radiatora firmy Intel ze zmodyfikowaną podstawą, tak aby cała powierzchnia procesora stykała się z powierzchnią podstawy radiatora. W celu uzyskania jak najbardziej wiarygodnych i powtarzalnych wyników, w symulacji została pominięta chropowatość powierzchni oraz nie uwzględniono pasty termoprzewodzącej stosowanej pomiędzy procesorem i podstawą radiatora, która służy do wypełnienia wcześniej wspomnianych mikronierówności (chropowatości) powierzchni na styku procesora i radiatora.

Model procesora przedstawiony w artykule nie jest w pełni odwzorowany z jego rzeczywistym wyglądem, wzięto pod uwagę tylko górną część procesora (IHS), która jako jedyna uczestniczy w procesie wymiany ciepła z radiatorem podczas pracy procesora. Model procesora posiada wymiary: szer. 37mm, dł. 37mm, wys. 2mm. i jest wykonany w całości z miedzi (tabela 1).



Rysunek 1. Badany model. 1 – zewnętrzna część radiatora, 2 – wewnętrzna część radiatora, 3 – procesor (IHS) w widoku z przodu (a) oraz widoku izometrycznym (b)

Figure 1. Examined model. 1 – external part of radiator, 2 – internal part of radiator, 3 – processor (IHS) seen in front (a) and isometric view (b)

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano trzy materiały, dwa z nich popularnie stosowane: aluminium (Al99.6, A91060) i miedź, oraz jeden innowacyjny nanokompozytowy materiał CarbAL (tabela 1).

Tablica 1. Własności materiałów [4]

Table 1. Materials' properties [4]

		CarbAL™	Aluminium (Al 1060)	Miedź
Przewodność cieplna	W/mK	350	230	390
Ciepło właściwe	J/gK	0,69	0,9	0,4
Gęstość	g/cm ³	1,75	2,71	8,9
Dyfuzyjność cieplna	cm ² /s	2,9	0,84	1,1

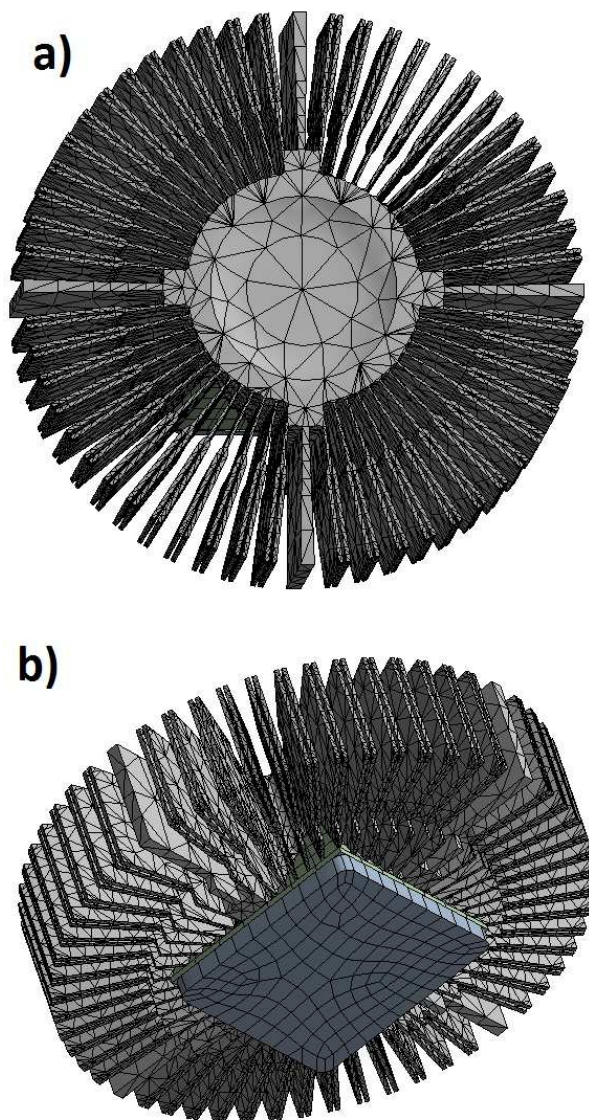
Materiał CarbAl posiada unikalną kombinację niskiej gęstości, wysokiej dyfuzji cieplnej i wysokiej przewodności cieplnej, które znacznie przekraczają możliwości konwencjonalnego materiału odprowadzającego ciepło.

Zalety techniczne materiału CarbAl można zauważyć porównując własności materiałów zestawionych w tabeli 1. Prędkość odprowadzenia ciepła ze źródła ciepła (czyli dyfuzji cieplnej) jest dwa do trzech razy wyższa niż w przypadku aluminium i miedzi. Materiał CarbAl ma gęstość (ciężar właściwy) mniejszą nawet od aluminium (tabela 1). Natomiast przewodność cieplna jest porównywalna z miedzią (tabela 1).

CarbAl jest materiałem nanokompozytowym na bazie węgla, składa się w 80% z węgla i w 20% z aluminium z dodatkiem, który zwiększa sprzężenie fononowe i hamuje powstawanie węglików aluminium.

3. PRZYGOTOWANIE DO SYMULACJI

Model został poddany dyskretyzacji w wyniku czego otrzymano 37072 elementów skończonych i 81597 więzów co przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Model radiatora z podziałem na elementy skończone, a) widok z góry, b) widok z dołu

Figure 2. Radiator model divided into finite elements, a) up view, b) bottom view.

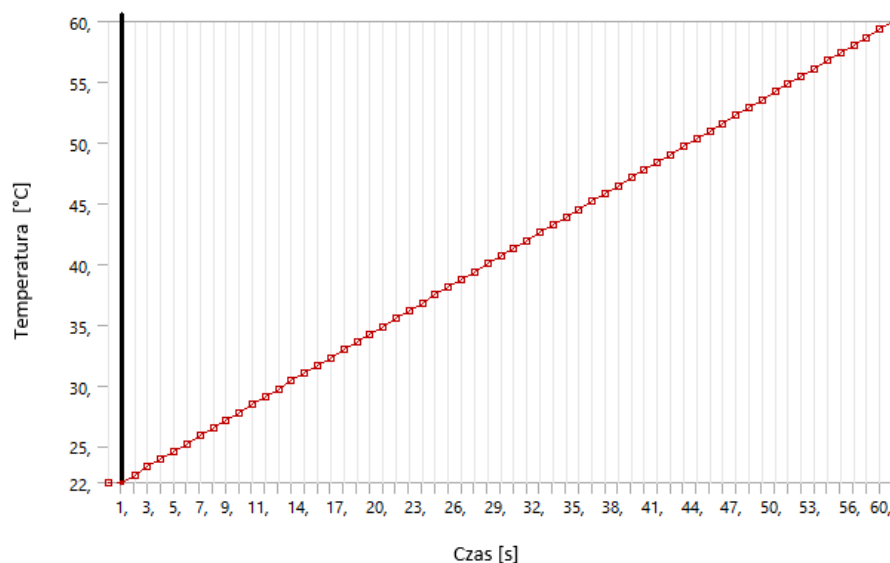
Symulację przeprowadzono w sytuacji, gdy procesor rozgrzewa się od temperatury początkowej 22 [°C] do temperatury 60 [°C] w czasie 60 sekund. Do czasu 1 sekundy temperatura jest stała na poziomie 22 [°C], natomiast od 1 sekundy do 60 sekundy temperatura wzrasta liniowo, co przedstawiono w tabeli 2 oraz w formie graficznej na

rysunku 3. Uwzględniono wymianę ciepła całego badanego elementu z otoczeniem o stałej wartości 5 [W/m²].

Tablica 2. Zależności temperatury od czasu pracy procesora.

Table 2. Processor work time dependence on temperature.

Kroki	Czas [s]	Temperatura [°C]	Kroki	Czas [s]	Temperatura [°C]
1	0	22,	31	31	= 41,322
	1		32	32	= 41,966
2	2	= 22,644	33	33	= 42,61
3	3	= 23,288	34	34	= 43,254
4	4	= 23,932	35	35	= 43,898
5	5	= 24,576	36	36	= 44,542
6	6	= 25,22	37	37	= 45,186
7	7	= 25,864	38	38	= 45,831
8	8	= 26,508	39	39	= 46,475
9	9	= 27,153	40	40	= 47,119
10	10	= 27,797	41	41	= 47,763
11	11	= 28,441	42	42	= 48,407
12	12	= 29,085	43	43	= 49,051
13	13	= 29,729	44	44	= 49,695
14	14	= 30,373	45	45	= 50,339
15	15	= 31,017	46	46	= 50,983
16	16	= 31,661	47	47	= 51,627
17	17	= 32,305	48	48	= 52,271
18	18	= 32,949	49	49	= 52,915
19	19	= 33,593	50	50	= 53,559
20	20	= 34,237	51	51	= 54,203
21	21	= 34,881	52	52	= 54,847
22	22	= 35,525	53	53	= 55,492
23	23	= 36,169	54	54	= 56,136
24	24	= 36,814	55	55	= 56,78
25	25	= 37,458	56	56	= 57,424
26	26	= 38,102	57	57	= 58,068
27	27	= 38,746	58	58	= 58,712
28	28	= 39,39	59	59	= 59,356
29	29	= 40,034	60	60	60
30	30	= 40,678			



Rysunek 3. Wykres zależności temperatury od czasu pracy procesora.

Figure 3. Chart of processor work time dependence on temperature.

4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

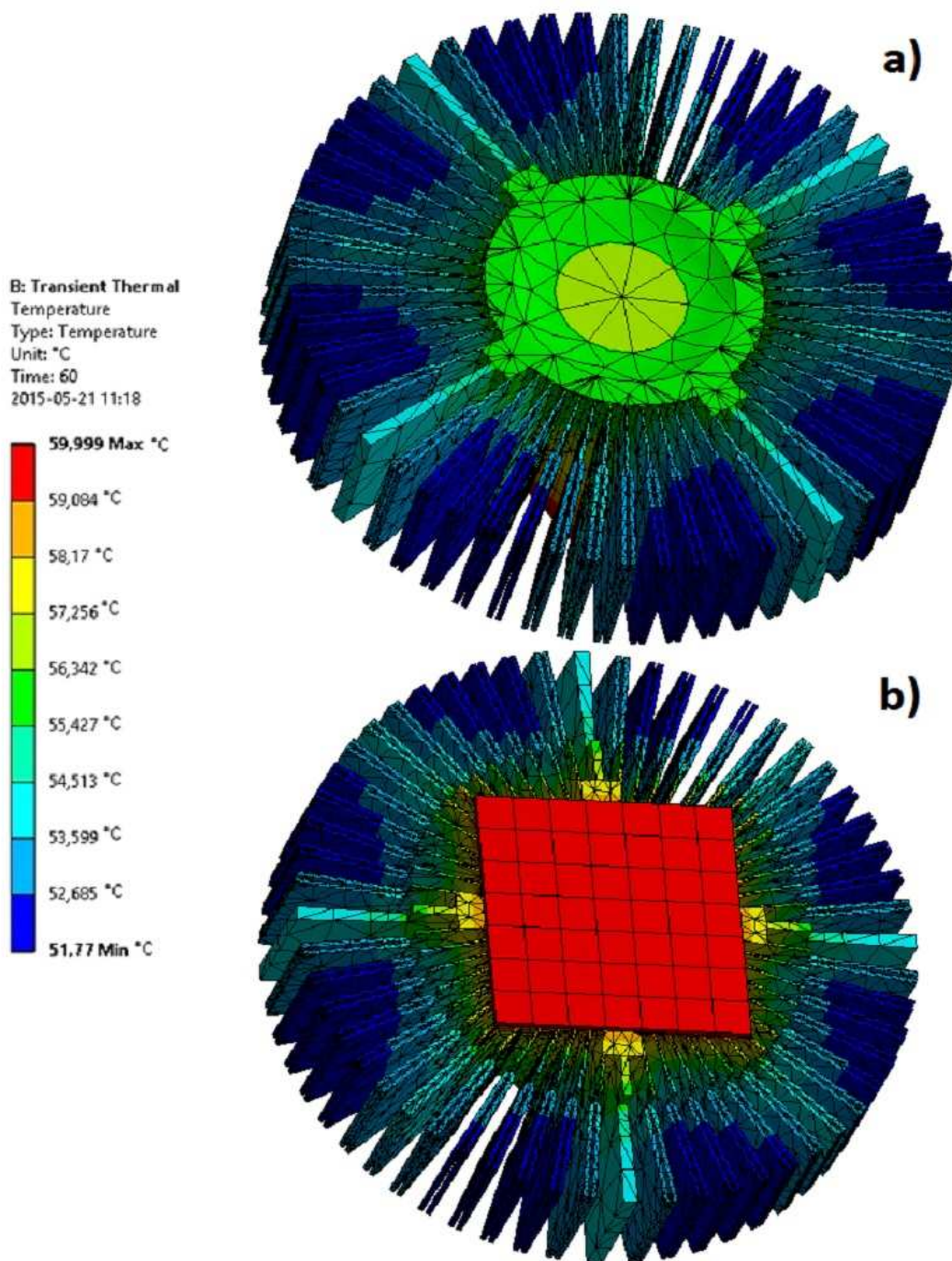
Modelowanie rozkładu temperatury w badanym obiekcie jest stosunkowo wymagającym problemem obliczeniowym. Wynika to między innymi z dużej zmienności pola przekroju oraz dużej liczby elementów skończonych. Do obliczeń numerycznych został wykorzystany oprogramowanie ANSYS z modułem do numerycznego modelowania zagadnień przepływu ciepła THERMAL TRANSIT. W wyniku obliczeń uzyskano przestrzenne rozkłady pola parametrów fizycznych radiatora w postaci wartości wektorów.

Należy zauważyć, iż otrzymane rozwiązania są obarczone błędami wynikającymi z przybliżonego charakteru metody. Przyjęte uproszczenia przy opracowywaniu modelu, ułatwiają jego opis, natomiast mają wpływ na dokładność rozwiązania. Daleko idące uproszczenia mogą spowodować pominięcie istotnych cech układu rzeczywistego, natomiast zbyt złożony model matematyczny może spowodować błędy w rozwiązaniu ze względu na skomplikowany proces obliczeniowy [5].

Przeprowadzono trzy symulacje ze względu na zastosowanie różnych materiałów radiatora z zachowaniem tego samego materiału procesora.

Jako kryterium oceny radiatora wybrano odprowadzanie ciepła, czyli szybkość przekazywania ciepła na całą powierzchnię badanego radiatora, dzięki czemu w bardzo krótkim czasie, na jak największym obszarze może zachodzić wymiana ciepła z otoczeniem, co jest kluczowym zagadnieniem w przypadku chłodzenia pasywnego. Po przeprowadzeniu symulacji w programie ANSYS jako dane wyjściowe otrzymaliśmy temperaturę maksymalną i temperaturę minimalną jaką uzyskał badany radiator. Ze względu na to że część radiatora stykająca się z procesorem ulega bardzo szybko nagrzaniu do temperatury zbliżonej temperaturze procesora, wzięto pod uwagę tylko temperaturę minimalną. Poniżej przedstawiono graficzne wyniki każdej symulacji po upływie 60 sekund (rysunki 4, 5, 6) oraz wyniki w postaci tabelarycznej dla temperatury minimalnej uzyskanej przez radiator (tablice 3, 4, 5).

a) aluminium (A91060)



Rysunek 4. Rozkład temperatury po 60s. dla radiatora aluminiowego A91060; a) widok z góry, b) widok z dołu

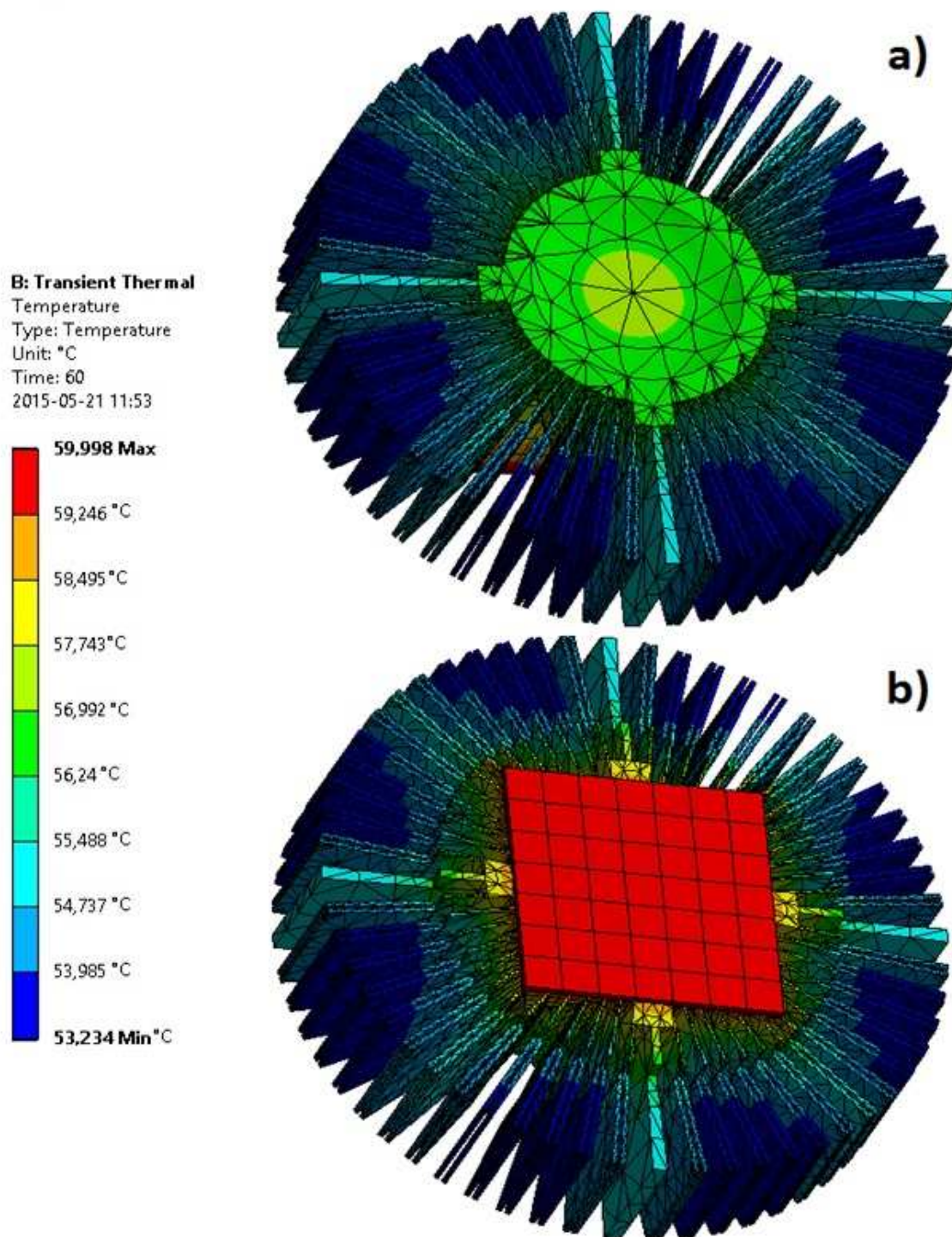
Figure 4. Temperature distribution after 60s. for A91060 aluminum radiator; a) up view, b) bottom view.

Tablica 3. Rozkład temperatury radiatora aluminiowego A91060

Table 3. Temperature distribution of A91060 aluminum radiator

Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	
0	22,	24	30,168	
1		25	30,735	
1,01		26	31,306	
1,02		27	31,883	
1,05		28	32,463	
1,14		29	33,047	
1,24		30	33,634	
1,34		31	34,224	
1,44		32	34,816	
1,54		33	35,411	
1,64		34	36,007	
1,74		35	36,605	
1,84		22,001	36	37,204
1,94			37	37,805
2	38		38,407	
2,01	39		39,01	
3	22,021	40	39,613	
4	22,081	41	40,218	
5	22,189	42	40,823	
6	22,347	43	41,429	
7	22,552	44	42,035	
8	22,801	45	42,642	
9	23,089	46	43,249	
10	23,414	47	43,856	
11	23,772	48	44,464	
12	24,157	49	45,072	
13	24,57	50	45,681	
14	25,005	51	46,289	
15	25,46	52	46,897	
16	25,934	53	47,506	
17	26,423	54	48,115	
18	26,927	55	48,724	
19	27,443	56	49,333	
20	27,971	57	49,942	
21	28,508	58	50,551	
22	29,054	59	51,161	
23	29,608	60	51,77	

a) miedź



Rysunek 5. Rozkład temperatury po 60s. dla radiatora miedzianego; a) widok z góry, b) widok z dołu

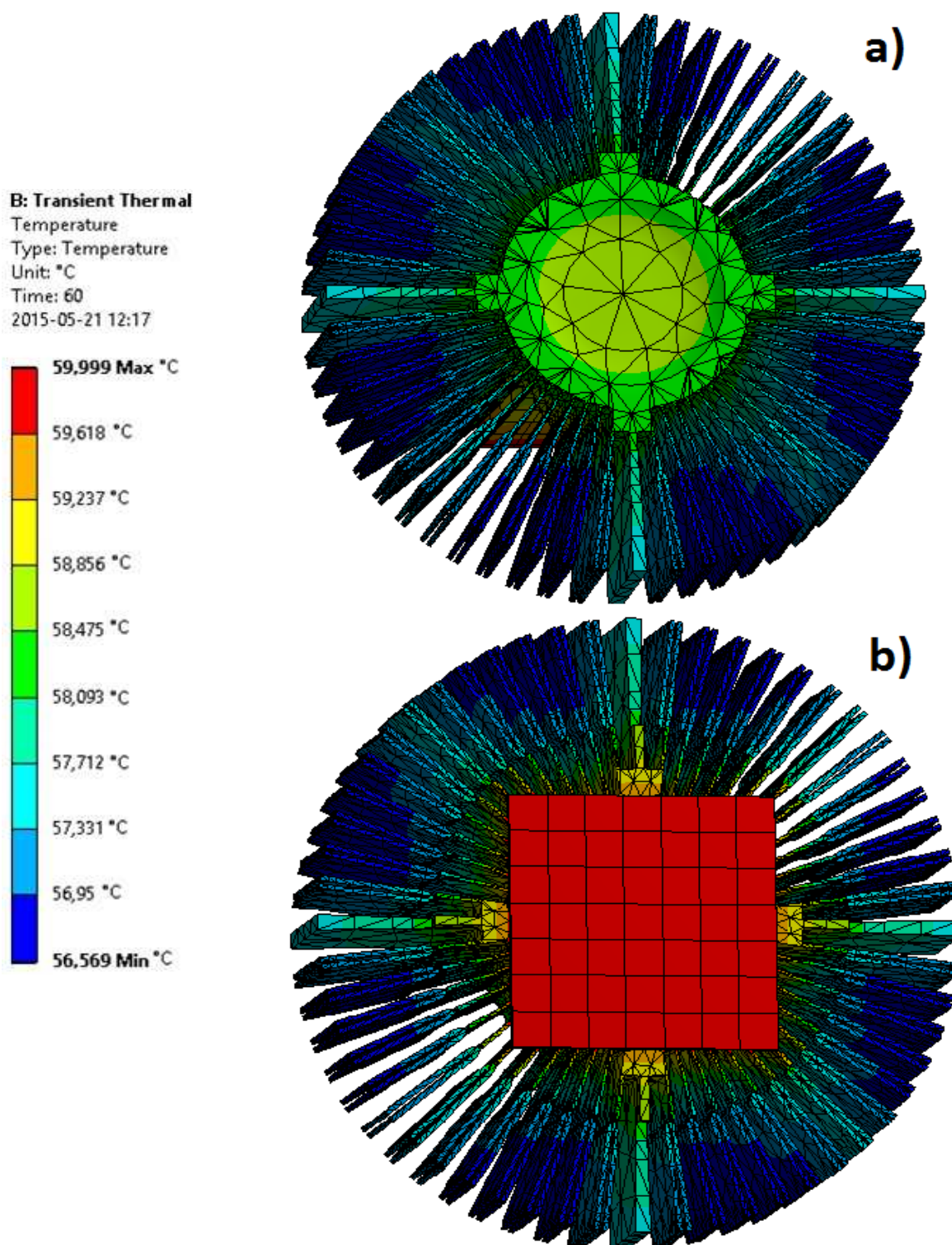
Figure 5. Temperature distribution of copper radiator after 60s.; a) up view, b) bottom view.

Tabela 4. Rozkład temperatury radiatora miedzianego

Table 4. Temperature distribution for copper radiator

Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	
0	22,	25	31,59	
1		26	32,189	
1,01		27	32,79	
1,02		28	33,395	
1,05		29	34,003	
1,14		30	34,612	
1,24		31	35,224	
1,34		32	35,837	
1,44		33	36,452	
1,54		34	37,068	
1,64		35	37,685	
1,74		22,001	36	38,302
1,84			37	38,921
1,94		22,002	38	39,54
2	39		40,16	
3	22,031	40	40,781	
4	22,111	41	41,401	
5	22,249	42	42,023	
6	22,442	43	42,644	
7	22,688	44	43,266	
8	22,981	45	43,888	
9	23,316	46	44,51	
10	23,689	47	45,133	
11	24,093	48	45,756	
12	24,527	49	46,378	
13	24,986	50	47,001	
14	25,466	51	47,624	
15	25,965	52	48,247	
16	26,481	53	48,871	
17	27,012	54	49,494	
18	27,554	55	50,117	
19	28,108	56	50,741	
20	28,671	57	51,364	
21	29,243	58	51,987	
22	29,821	59	52,611	
23	30,406	60	53,234	
24	30,996			

a) CarbAL



Rysunek 6. Rozkład temperatury po 60s. dla radiatora z materiałem CarbAL; a) widok z góry, b) widok z dołu

Figure 6. Temperature distribution for CarbAL radiator after 60s.; a) up view, b) bottom view.

Tabela 5. Rozkład temperatury radiatora z materiałem CarbAL

Table 5. Temperature distribution for CarbAl radiator

Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	Czas [s]	Minimalna temperatura [°C]	
0	22,	25	34,823	
1		26	35,444	
1,01		27	36,066	
1,02		28	36,687	
1,05		29	37,308	
1,14		30	37,929	
1,24		31	38,551	
1,34		22,001	32	39,172
1,44		22,003	33	39,793
1,54		22,005	34	40,415
1,64	22,009	35	41,036	
1,74	22,014	36	41,657	
1,84	22,02	37	42,278	
1,94	22,028	38	42,9	
2	22,033	39	43,521	
3	22,2	40	44,142	
4	22,497	41	44,763	
5	22,892	42	45,385	
6	23,357	43	46,006	
7	23,87	44	46,627	
8	24,418	45	47,249	
9	24,989	46	47,87	
10	25,576	47	48,491	
11	26,174	48	49,112	
12	26,779	49	49,734	
13	27,39	50	50,355	
14	28,004	51	50,976	
15	28,62	52	51,598	
16	29,238	53	52,219	
17	29,857	54	52,84	
18	30,477	55	53,462	
19	31,097	56	54,083	
20	31,718	57	54,704	
21	32,339	58	55,326	
22	32,96	59	55,947	
23	33,581	60	56,569	
24	34,202			

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone symulacje wskazują na dobre własności przewodzenia ciepła wszystkich badanych materiałów, które pozwalają na efektywne ich zastosowanie, jako odbiorniki ciepła. Każdy z wykorzystanych do badań materiałów można jednak dopasować do indywidualnych potrzeb użytkownika. Aluminium charakteryzuje się małą gęstością, co pozwala uzyskać niską wagę wytwarzanych z niego elementów, która w badanym radiatorze wyniosła 204,06g. Aluminium okazuje się bardzo dobrym rozwiązaniem dla zastosowań domowych. Miedź mimo wyższej wartości przewodności cieplnej od aluminium nie wykazuje znacznej przewagi według wcześniej ustalonego kryterium wyboru najlepszego materiału. Ze względu na dużą gęstość miedzi badany radiator uzyskał wagę aż 581,32g co w zastosowaniach domowych może być dość niebezpieczne dla elementów mocujących w standardowym komputerze, które są wykonane z tworzywa sztucznego podatnego na odkształcenia. Na niekorzyść miedzi przemawia również jego wysoka cena, która (na dzień 22.05.2015) jest o 3,5 razy większa od aluminium. CarbAL dzięki swoim własnościom uzyskał największą skuteczność przekazywania ciepła na powierzchnię radiatora uzyskując po 60 sekundach symulacji temperaturę 56,569[°C], czyli o 3,335[°C] więcej od temperatury uzyskanej przez miedź oraz o 4,799[°C] więcej od temperatury uzyskanej przez aluminium. Dzięki swojej niskiej gęstości wynoszącej 1,75 g/cm³ badany radiator uzyskał wagę zaledwie 145,55g czyli o 80g mniej niż w przypadku aluminium. CarbAL jest materiałem zdecydowanie dla osób, które potrzebują bardziej zaawansowanych rozwiązań w dziedzinie odprowadzania ciepła, co może być kluczowym aspektem dla bezpieczeństwa wielu elementów elektronicznych. Z uwagi na brak dostępnych danych oraz biorąc pod uwagę jego znakomite własności, szacuje się, że cena znacznie przewyższy ceny aluminium i miedzi.

Zsumowane wyniki zebrano w tabeli 6 na której również zaznaczono kolorem zielonym najlepsze wyniki uzyskane przez poszczególne materiały.

Tablica 6. Podsumowanie uzyskanych wyników z trzech symulacji.

Table 6. Summary of obtained results of three simulations.

		CarbAl™	Aluminium (Al 1060)	Miedź
Uzyskana temperatura minimalna	[°C]	56,569	51,77	53,234
Waga badanego radiatora	[g]	145,55	204,06	581,32
Cena materiału do wyprodukowania badanego radiatora	[zł]	Brak danych	1,32	13,17

LITERATURA

1. T. Zagrajek, G. Krzesiński, P. Marek, Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji. Ćwiczenia z zastosowaniem systemu ANSYS. Wydawnictwo: OWPW, Warszawa 2005
2. strona internetowa: <http://www.strek.strefa.pl>

3. http://www.electronicproducts.com/Thermal_Management/Heat_Sinks_and_Thermal_Materials/CarbAl_material_is_a_thermal_management_game_changer.aspx
4. <http://www.appliednanotech.net/tech/CarbAl.php>
5. http://www.kms.polsl.pl/mi/pelne_9/11.pdf