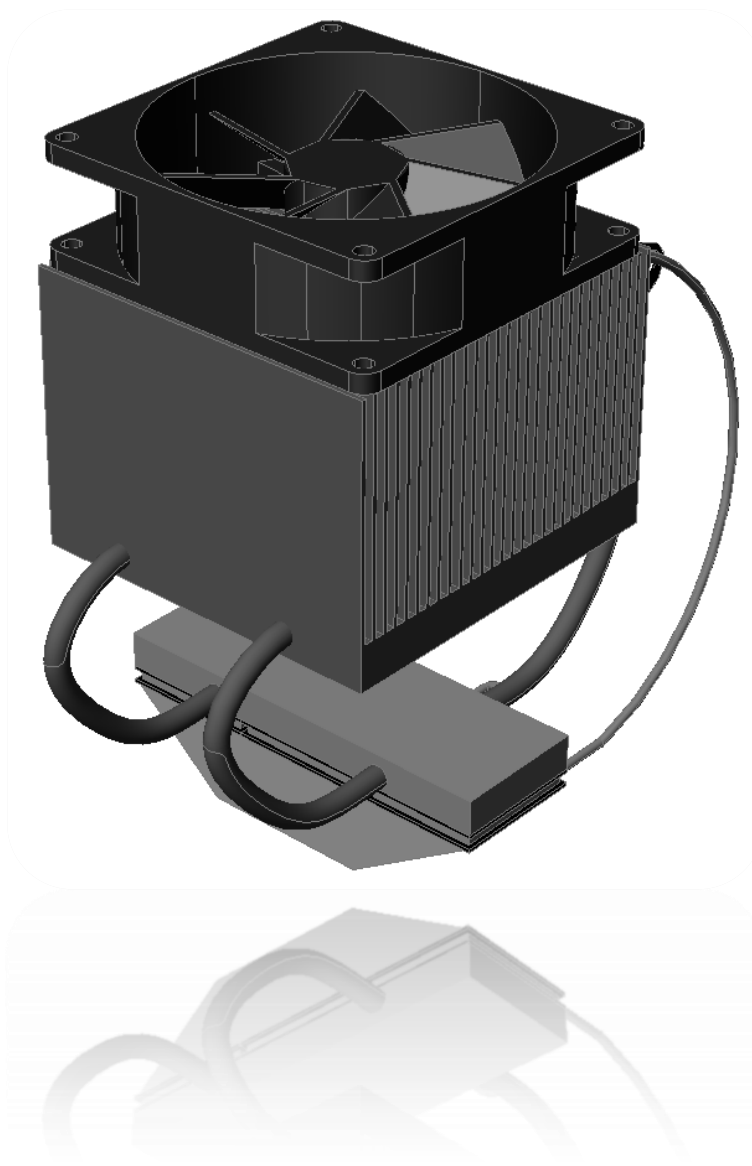


# IZKORIŠČANJE ODPADNE TOPLOTE PROCESORJA

---



***Nejc Vidrih in Jan Zmazek***

***Mentorja: Franc Vrbančič in Goran Bezjak***

***2012***

***Gimnazija Ptuj in Elektro-računalniška šola, ŠČ Ptuj***



## Zahvala

Zahvaljujema se mentorjema Francu Vrbančiču ter Goranu Bezjaku za strokovno pomoč pri izvajanju poskusov, kot tudi pri nastajanju pisne naloge. Iskeno se zahvaljujema tudi Alešu Stojaku ter Gregorju Krušiču za strokovno pomoč. Posebej bi se želela še zahvaliti Manji Bratuž za prevod povzetka in vsem ostalim, ki so nama kakorkoli pomagali pri raziskovanju.

## Povzetek

Pri delu živih bitij kakor tudi pri delovanju naprav zraven koristnega dela nastaja tudi toplota, ki je pogosto problematična, lahko pa tudi koristna. Pri delovanju elektronskih naprav je toplota večkrat problem. Vezja trošijo električno energijo in se posledično pregrevajo, zato bi toploto lahko pretvorili v kakšno drugo energijo, ki bi bila za nas koristnejša. V raziskovalni nalogi se bova osredotočila na porabo električne energije v računalništvu. Predstavila bova inovativno rešitev za ponovno porabo odvečne toplote. Empirično bomo dokazali, da je predlagana rešitev možna in smotrna. Predlagali bomo tudi tehnološko rešitev montaže hladilnega sistema, ki ga lahko namestimo z minimalnimi posegi v notranjost osebnega računalnika.

**Ključne besede:** peltierjev element, pretvorba energije, hladilni sistem, toplota

## Abstract

Living creatures as well as electronic devices in operation produce the heat, which can be useful or problematic. In case of operation of electronic devices, the heat is mostly a problem. Electronic circuits are being overheated and consume electricity which could be converted into some form of useful energy. In our research project we have focused on power consumption in computing. We present an innovative solution for re-use of excess heat. Furthermore, we empirically demonstrate that the proposed solution is possible as well as sensible. We propose a technological solution in the form of a cooling system that can be installed with minimal interference into a computer.

**Keywords:** Peltier element, energy conversion, cooling system, heat

Tabela strokovnih besed, kratic

Kratica, pojem	Angleške prevod	Pomen
Peltierjev element	Peltier element	To je termoelektrični člen, ki ga lahko uporabljamo tako pri seebeckovem pojavu kot tudi za peltierjev pojav.
Odpadna toplota	Waste heat	To je toplotna energija, ki se prenese v ozračje in ne opravlja koristnega dela.
IBM	International Business Machines	To je podjetje, ki izdeluje računalnike, računalniške komponente ter ostalo elektronsko opremo.
MSI	MSI	Podjetje, ki razvija in proizvaja računalniško in drugo elektronsko opremo.
Multimeter	Multimeter	Je elektronska naprava za merjenje toka, napetosti, upornosti... Odvisno od modela.
Procesorski hladilnik	Processor cooler	Je računalniška komponenta pritrjena na CPE, ki skrbi za odvajanje toplote. Navadno vključuje tudi ventilator.
CPE	CPU-Central Processing Unit	Centralno Procesna Enota je glavni del računalnika. Več informacij o njem v poglavju 3.2.

## Kazalo vsebine

Zahvala.....	2
Povzetek .....	3
Abstract .....	3
Tabela strokovnih besed, kratic.....	4
1. Uvod.....	8
2. Opredelitev področja raziskovanja.....	10
2.1. Hipoteze .....	10
2.2. Potek raziskovanja .....	11
3. Teoretični del.....	12
3.1. Hlajenje računalnika .....	12
3.2. Centralna procesna enota.....	15
3.3. Peltierjev element.....	16
3.4. Termoelektrični pojavi .....	17
3.5. Stirlingov motor .....	19
3.6. Toplotna prevodnost snovi .....	21
3.7. Fizikalno-matematični model .....	22
4. Uvod v empirični del.....	23
4.1. Metode dela.....	23
4.2. Merilna metrika .....	23
4.3. Umerjanje elementov .....	24
4.4. Toplotna prevodnost peltierjevega elementa .....	26
4.5. Opis raziskovalnega modela .....	27
4.6. Funkcionalna shema .....	28

5.	Empirični del .....	29
5.1.	Opis »montažne« tehnološke rešitve .....	32
6.	Diskusija .....	34
6.1.	Vrednotenje hipotez .....	35
7.	Zaključek .....	36
8.	Viri (Literatura) .....	37
8.1.	Viri slik .....	37

### **Kazalo slik**

Slika 1:	Pretok zraka skozi namizni računalnik .....	13
Slika 2:	Vodno hlajenje računalnika .....	14
Slika 3:	Procesor .....	15
Slika 4:	Prikaz peltierjevega elementa .....	16
Slika 5:	Prikaz delovanja Seebeckovega pojava .....	18
Slika 6:	Prikaz delovanja peltierjevega pojava .....	18
Slika 7:	MSI-jev hladilni sistem s stirligovim motorjem .....	20
Slika 8:	Multimeter Tenma .....	23
Slika 9:	Prikaz naše tehnološke rešitve .....	28
Slika 10:	Prikaz obstoječe hladilne rešitve .....	28
Slika 11:	Funkcionalna shema obstoječega procesorskega hladilnika .....	28
Slika 12:	Funkcionalna shema naše inovativne rešitve .....	28
Slika 13:	Model merjenca .....	30
Slika 14:	Električna shema priklopa peltierjevih elementov .....	31
Slika 15:	Slika gnanega ventilatorja .....	31
Slika 16:	Fizičen izgled poskusa .....	31
Slika 17:	Podatki o porabi ventilatorja .....	31
Slika 18:	3D tehnološka rešitev montaže hladilnega elementa .....	32
Slika 19:	Potrjeno .....	35

## Kazalo grafov

Graf 2: Odvisnost tlaka od volumna idealiziranega Stirlingovega cikla.....	19
Graf 3: Graf moči v odvisnosti od spremembe temperature za oba Peltierjeva elementa (P1 predstavlja element v velikosti 4*4 cm, P2 pa element v velikosti 3*3 cm) .....	26

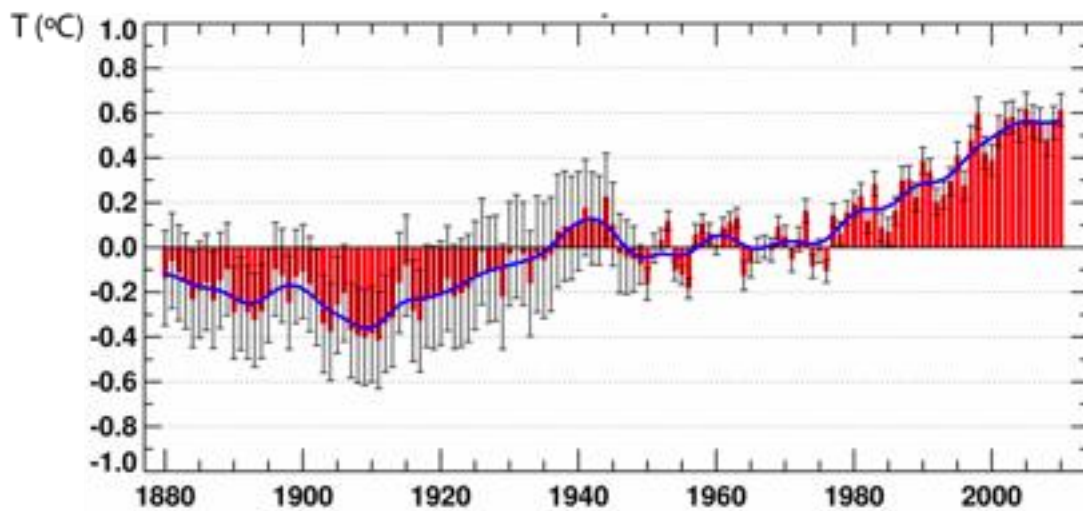
## Kazalo tabel

Tabela 1: Toplotna prevodnost nekaterih snovi.....	21
Tabela 2: Rezultati meritev Peltierjevega elementa velikosti 4*4cm .....	24
Tabela 3: Rezultati meritev Peltierjevega elementa velikosti 3*3cm .....	25
Tabela 4: Toplotna prevodnost .....	26



## 1. Uvod

Zadnje statistike kažejo, da so se povprečne temperature Zemlje od leta 1880 dvignile za 0,8°C, večino v zadnjih desetletjih. Stopnja globalnega segrevanja se viša. Zadnji dve desetletji sta bili najbolj vroči v zadnjih 400 letih. Kot primer lahko navedemo hitro taljenje ledenikov v Ledeniškem narodnem parku v Montani. Leta 1910 je imelo 150 ledenikov, danes jih je ostalo le še 27. Ker se ledeniki talijo, voda pa se zaradi višanja globalne temperature širi, se tudi gladina oceanov iz dneva v dan dviguje. Zaradi tega so ogroženi ljudje, ki živijo ob obalah in na otokih. Stvar pa je še veliko resnejša, saj je ekosistem zemlje skoraj v celoti vezan na oceane, zato bo škodo utrpela tudi večina ostalih živih bitij na zemlji. Gladina oceana se je med letoma 1950 in 2009 dvignila za približno 1,7 mm letno, med letoma 1993 in 2009 pa kar za 3,3 mm na leto.



Graf 1: Anomalija globalne temperature

H globalnemu segrevanju prispeva veliko tudi proizvodnja električne energije. Za primer, v Sloveniji raste v zadnjih letih poraba električne energije za okoli 4% na leto, proizvodnja elektrike in toplote pa prispeva več kot tretjino (38,5%) vseh izpustov CO<sub>2</sub>. Velik potrošnik električne energije je med drugim tudi osebni računalnik. Čeprav je minilo komaj dobrih 30 let od predstavitve prvega IBM-ovega osebnega računalnika, je število računalnikov leta 2008 doseglo 1 milijardo, do leta 2015 pa naj bi se še podvojilo. Računalnik je imelo v Sloveniji v začetku leta 2011 že 74% gospodinjstev.

Poleg tega da h globalnemu segrevanju prispeva proizvodnja elektrike, tudi računalnik sam pretvori večino električne energije v toploto. Ta je za nas v času ogrevalne sezone koristna, saj na račun tega zmanjšamo kurjavo. Za nekoristno se izkaže poleti. Nekateri za odvajanje te toplote vključijo klimatske naprave katerih izkoristek pa tudi ni 100%.

## 2. Opredelitev področja raziskovanja

### 2.1. Hipoteze

Na podlagi najdenih podatkov na spletu in pogovorih z nekaj profesorji smo se odločili, da bomo raziskovali termoelektrične pojave. Za raziskovanje smo si postavili naslednje hipoteze:

H1: Možno je koristno uporabiti odpadno toploto procesorja.

H2: Z peltierjevimi elementi materiali je možno narediti delujoč hladilni element, ki bo učinkovitejši od obstoječih hladilnih elementov.

H3: Obstaja ustrezna montažna rešitev hladilnega elementa procesorja, ki jo brez večjih posegov<sup>1</sup> vgradimo v namizni računalnik.

---

<sup>1</sup> Menjava izključno procesorskega hladilnika z našo tehnološko rešitvijo

## 2.2. Potek raziskovanja

V teoretičnem delu bova najprej predstavila obstoječe hladilne sisteme računalnika. Nato bova predstavili še fizikalne pojave, ki bodo nujno potrebni za najino inovativno rešitev. Omenila bova tudi stirlingov motor z zunanjim izgorevanjem ter omenila razvoj hlajenja procesorja z omenjenim motorjem v podjetju MSI. Primerjala bova tudi toplotne prevodnosti različnih materialov in izbrala najustreznejši material za izdelavo tehnološke rešitve. Najin empirični del je sestavljen iz dveh delov. V prvem delu bova izmerila dobljeno moč pri različnih temperaturah ter izmerila toplotno prevodnost peltierjevega elementa. Dobljeni podatki naju bodo vodili do izdelave montažne rešitve hladilnega sistema računalniškega procesorja.

### 3. Teoretični del

#### 3.1. Hlajenje računalnika

Povprečna poraba osebnih računalnikov se giblje od 50 do 500 vatov. Dejstvo je, da se velik delež te energije prenese v nepotrebno toploto. Tako je tudi pri veliki večini drugih električnih napravah, na primer pri navadnih žarnicah, kjer se kar 95% energije pretvori v toploto, le 5% pa v svetlobo. V zimske času nam ta toplota dodatno ogreva prostore, a v vročih dneh tega ne želimo. Večino električnih naprav je potrebno hladiti. Ena iz med teh so računalniške komponente. Hladimo jih lahko na več načinov:

Tako v stacionarnih kot tudi prenosnih računalnikih in strežnikih je najbolj razširjeno **zračno hlajenje**. Delimo ga na aktivno in pasivno. Aktivno pomeni, da za dovod hladnejšega zraka do hladilnika uporabimo ventilator. Velika večina računalnikov se hladi aktivno. Prednost je, da lahko s sorazmerno majhnim hladilnim rebrom odvajamo večje količine toplote. Slabosti pa so glasnost ventilatorja ter možnost okvare le tega, kar pa lahko vodi do uničenja hlajene komponente. Te probleme pa lahko rešimo z uporabo kvalitetnejšega ventilatorja.

**Pasivno** pomeni, da se hladilna rebra hladijo izključno s kroženjem zraka zaradi konvekcije. Ta pojav se uporablja tudi pri radiatorjih za gretje prostorov. Prednost je, da hladilni sistem deluje neslišno, slabost pa je slabša zmogljivost hlajenja glede na velikost. Omejeni smo tudi z možnostjo namestitve pasivnega hladilnika, saj mora biti nameščen na mestu, kjer lahko zrak nemoteno cirkulira.

Pravilno izvedeno zračno hlajenje stacionarnega računalnika je takšno, da zrak vstopa v spodnjem delu ohišja (glej sliko 1.), da hladi trde diske in izstopa pa na vrhu (največkrat pri napajalniku).

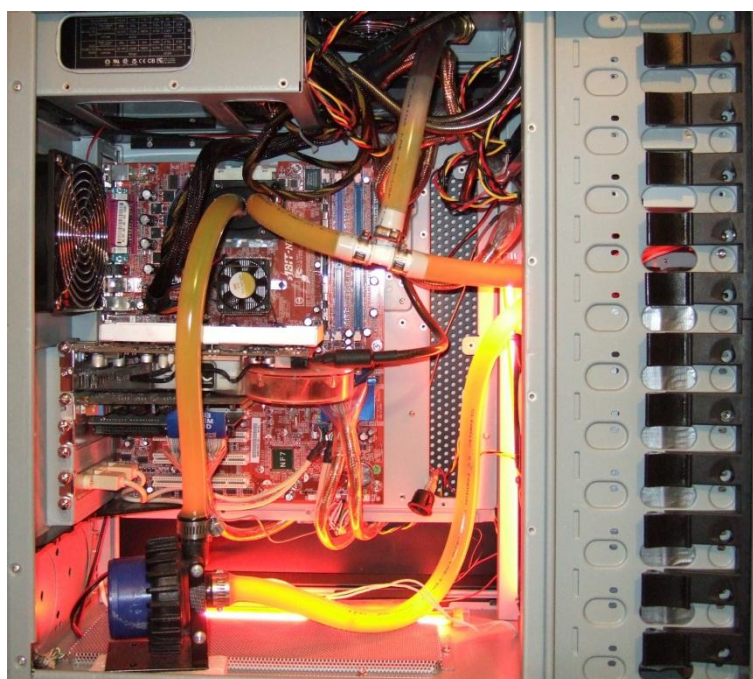
Ker pa moderni procesorji oddajo vse več toplote, ima tudi procesorski hladilni sistem največkrat svojo odprtino za dovod hladnejšega zraka v stranici računalniškega ohišja. Prednost zračnega hlajenja je predvsem cena in nezahtevna vgradnja, slabost pa je, da moramo računalnik vsake toliko časa očistiti prahu. V nasprotnem primeru lahko pride do pregrevanja, v skrajnih primerih pa tudi do požara.



Slika 1: Pretok zraka skozi namizni računalnik

Izkoriščanje odpadne toplote procesorja

Alternativa zračnemu hlajenju računalnika je **vodno hlajenje** (glej sliko 2). Uveljavljati se je začelo v zadnjih nekaj letih, saj se je z napredkom tehnologije višala hitrost računalnikov in s tem energetska poraba in segrevanje najbolj obremenjenih delov računalnika, kot sta procesor in grafična kartica. Glavna prednost pred zračnim hlajenjem je večja zmogljivost odvajanja toplotne energije ter njegova glasnost. Slabosti pa so predvsem cena in zahtevnost namestitve. Tudi poraba električne energije je nekoliko večja, saj moramo napajati še črpalko, ki skrbi za kroženje tekočine po sistemu.



**Slika 2: Vodno hlajenje računalnika**

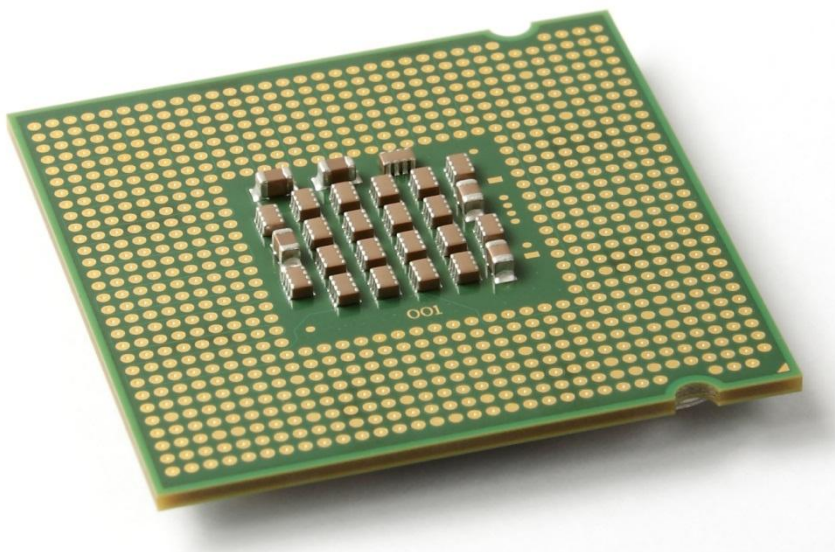
Za skrajno »navite« procesorje se uporablja **hlajenje s tekočim dušikom ali helijem**. Ta način hlajenja vsekakor ni primeren za vsakodnevno uporabo.

Pri vseh vrstah hlajenja moramo zagotoviti dober toplotno-prevodni stik med hladilnim sistemom in komponento, ki jo želimo hladiti. To lahko dosežemo z nanosom t.i. temperaturno prevodne paste.

### 3.2. Centralna procesna enota

Centralna procesna enota oz. CPE je središče računalnika, ki upravlja in nadzira delovanje računalnika in izvršuje matematične in logične operacije. Sestavljena je iz aritmetično-logične enote, krmilne enote in registrov. V sodobnih računalnikih je CPE sestavljena iz elektronskega vezja, ki ga imenujemo mikroprocesor (glej sliko 3). Pogosto enačimo zmogljivost mikroprocesorja kar z zmogljivostjo računalnika. V zadnjih letih se je zmogljivost povečala več tisočkrat.

Mikroprocesor lahko opišemo s tem, koliko bitov obdeluje hkrati in z njegovo frekvenco. Pomembna lastnost mikroprocesorja je tudi takt povezave med procesorjem in pomnilnikom, tak podatkovnih vodil ter velikost elementov, iz katerih je zgrajen. Večji elementi namreč potrebujejo večjo električno napetost ter s tem porabijo več energije, zaradi česar se bolj grejejo.



Slika 3: Procesor

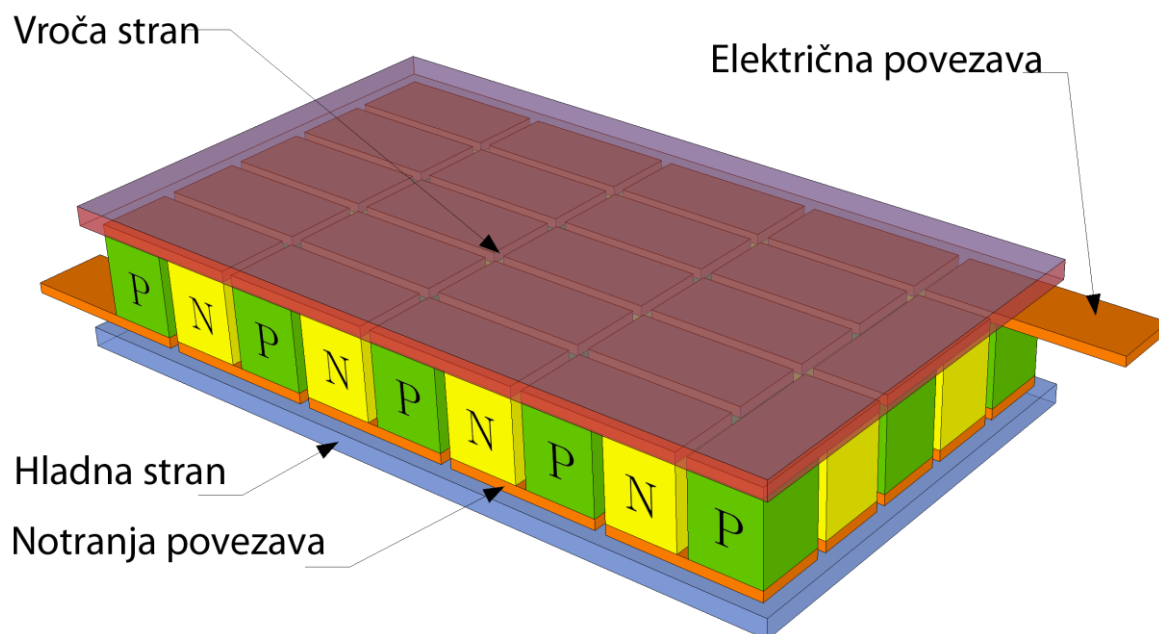


### 3.3. Peltierjev element

Peltierjev element je toplotna črpalka; ko skozi njega teče električni tok, prenaša toploto iz ene strani na drugo (glej sliko 4). Tako ga lahko uporabljamo tako za gretje kot tudi za hlajenje. Njegovo delovanje lahko obrnemo s tem, ko zamenjamo pozitivno in negativno priključno sponko.

Glavne prednosti Peltierjevega elementa so zelo malo premikajočih delov ter zelo majhna velikost in fleksibilna oblika. Glavna slabost je, da imajo cenejši elementi zelo slab izkoristek.

Peltierjev element se lahko uporablja tudi kot termoelektrični generator. Ko je med eno in drugo stranjo temperaturna razlika, se zaradi Seebeckovega efekta pojavi električna napetost.



Slika 4: Prikaz peltierjevega elementa

### 3.4. Termoelektrični pojavi

Termoelektrični pojavi so skupina fizikalnih pri katerih se temperaturna razlika neposredno pretvori v električno napetost in obratno. Mednje uvrščamo Seebeckov pojav, Peltierjev pojav, Thomsonov pojav in sproščanje toplote zaradi električnega upora pri prevajanju električnega toka.

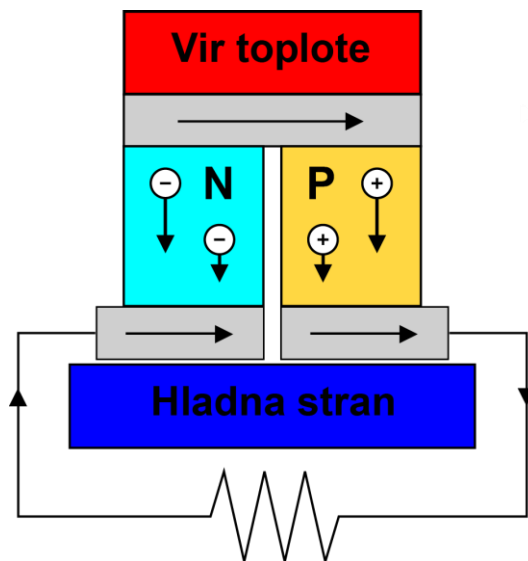
Za to raziskovalno nalogo je pomemben Seebeckov pojav.

#### 1. Seebeckov pojav

Seebeckov pojav je sklenjen električni krog iz dveh različnih vodnikov, po katerem steče električni tok, če sta na spojnih mestih različni temperaturi. Za merjenje temperaturne razlike se uporablja tudi pri termoparu. Električni tok nastane zato, ker se kovini na temperaturno razliko odzoveta različno. Na sliki 5 lahko vidimo prikaz Seebeckovega pojava.

Napetost, ki jo dobimo pri Seebeckovem pojavu lahko izračunamo po spodnji formuli, pri čemer sta  $S_A$  in  $S_B$  koeficienta termonapetosti vodnikov A in B,  $T_1$  in  $T_2$  pa temperaturi na spojih.

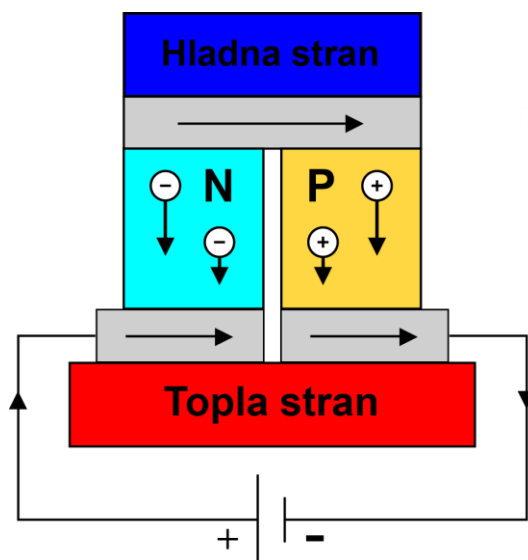
$$U = (S_B - S_A) \times (T_2 - T_1)$$



Slika 5: Prikaz delovanja Seebeckovega pojava

## 2. Peltierjev pojav

Za razliko od Seebeckovega pojava je Peltierjev pojav ustvarjanje temperaturne razlike z električno napetostjo (glej sliko 6). Kadar teče električni tok skozi dvoje različnih kovin ali polprevodnikov, se toplota prenaša s spoja s temperaturo T1 na spoj s temperaturo T2.



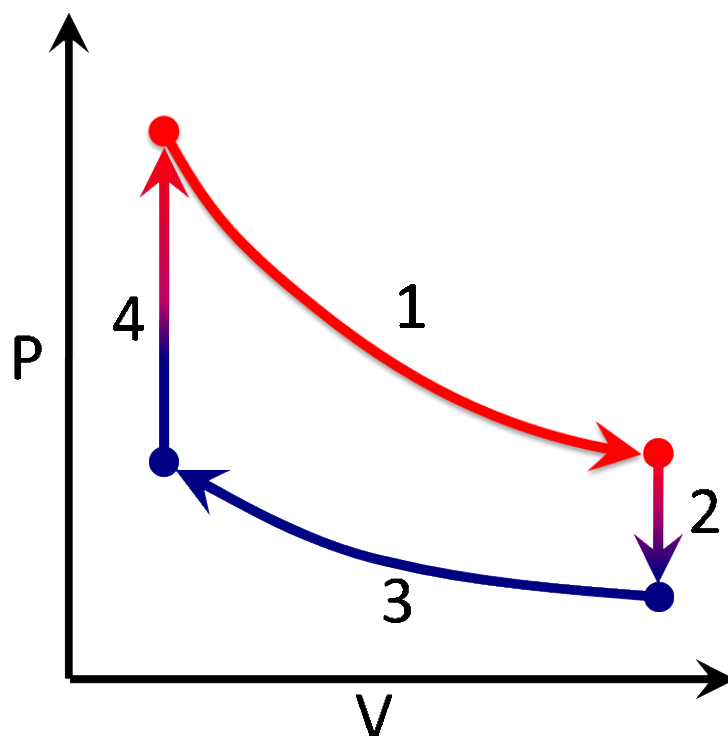
Slika 6: Prikaz delovanja peltierjevega pojava

### 3.5. Stirlingov motor

Veliko mehanizmov, s katerimi lahko toplotno energijo pretvarjamo v električno energijo, se že raziskuje, kar le še potrjuje dejstvo, da ima hlajenje z odvečno toploto velik potencial. Eden od teh mehanizmov je "Stirlingov motor". To je motor z zunanjim izgorevanjem, ki deluje s cikličnim stiskanjem in raztezanjem zraka ali drugega plina zaradi različnih temperatur, zaradi česar pride do pretvorbe toplotne energije v mehansko delo.

Deluje v štirih fazah (glej graf 2);

1. faza gretja
2. faza raztezanja
3. faza hlajenja
4. faza krčenja.



Graf 1: Odvisnost tlaka od volumna idealiziranega Stirlingovega cikla

Izkoriščanje odpadne toplote procesorja

Za Stirlingov motor kot sistem hlajenja matične plošče so se odločili pri podjetju MSI. Predstavili so ventilator, ki za delovanje ne potrebuje električne energije (glej sliko 7). Izdelek je trenutno še v fazi razvoja.



Slika 7: MSI-jev hladilni sistem s stirligovim motorjem

### 3.6. Toplotna prevodnost snovi

Za vsako snov je značilna določena toplotna prevodnost, ki nam pove, kako dobro ta snov prevaja toploto. Toplota potuje vedno od mesta z višjo proti mestu z nižjo temperaturo.

Konvekcija je prenašanje toplote z gibanjem snovi. Opazimo jo npr. pri kuhanju. Zaradi vzgona nastali tokovi skrbijo za to, da je temperatura enakomerna. Ko je jed že zelo gosta tokovi zamrejo, zato si moramo pomagati s kuhalnico.

V računalniku s pomočjo konvekcije odvedemo premajhno količino toplote, da bi, da bi se komponente sproti učinkovito hladile, zato jih moramo hladiti aktivno. Pri hlajenju računalnika je pomembno, da izberemo materiale z dobro toplotno prevodnostjo. V spodnji tabeli 1 so razvidne toplotne prevodnosti različnih materialov. Za nas je najprimernejši material za izdelavo hladilnika baker, saj ima pri sorazmerno nizki ceni dobro toplotno prevodnost.

Snov	Toplotna prevodnost [W/m K]	Temperatura [K]
diamant	2000-2500	/
Srebro	406-429	300
<b>Baker</b>	<b>385-401</b>	<b>273-373</b>
Zlato	314-318	273-373
Aluminij	205-237	293
Železo	71,8-80,4	273-373
Led	1,6-2,2	273
Steklo	0,8-0,93	293
Porcelan	0.8	293
Voda	0,6	293
Les	0,09-0,21	298-293
Zrak	0,024-0,026	273-300

Tabela 1: Toplotna prevodnost nekaterih snovi<sup>2</sup>

<sup>2</sup> [http://sl.wikipedia.org/wiki/Toplotna\\_prevodnost](http://sl.wikipedia.org/wiki/Toplotna_prevodnost)

Izkoriščanje odpadne toplote procesorja

### 3.7. Fizikalno-matematični model

Pri računanju manjkajočih podatkov smo uporabili naslednje enačbe:

Za računanje moči:

$$P = I \times U$$

Za računanje toplotnega toka:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m \times c \times \Delta T}{\Delta t}$$

$$P = \lambda \times S \frac{\Delta T}{l}$$

Za računanje napetosti:

$$U = R \times I$$

## 4. Uvod v empirični del

### 4.1. Metode dela

Pri raziskovalni nalogi je bilo tudi veliko praktičnega dela. V šoli sva dobila v izposajo dva multimetra, za merjenje tako temperature kot tudi toka, napetosti in upornosti. Težava je bila pri nabavi Peltierjevih elementov, saj o njih ni nobenih podatkov o količini električne energije, ki jo lahko proizvedejo, saj to ni njihov osnoven način uporabe. Ponavadi se uporabljajo tako, da na njih priključimo električno energijo, element pa ustvarja temperaturno razliko med zgornjo in spodnjo stranjo. V vsakdanjem življenju jih lahko srečamo predvsem v nižje-cenovnih hladilnikih in hladilnih torbah. Navedeni so predvsem podatki, kot so moč, delovna napetost, delovni tok, temperaturna razlika, upornost ipd.

### 4.2. Merilna metrika

Za merjenje sva uporabila dva multimetra Tenma 72-774 (glej sliko 8), ki sva si jih sposodila v šoli. V kompletu sva dobila še dve sondi za merjenje temperature. V sobi, v kateri sva izvajala poskuse je bilo 23°C. Za tokovno povezavo sva uporabila t.i. »krokodilčke«.



Slika 8: Multimeter Tenma



### 4.3. Umerjanje elementov

Za prvi poskus smo za merjenje izbrali en Peltierjev element velikosti 3cm x 3cm. Na eno stran smo dali hladilnik z ventilatorjem, da smo dobili konstantno temperaturo. Če pa želimo iz omenjenega elementa dobiti električno energijo, moramo ustvariti temperaturno razliko med zgornjo in spodnjo stranjo. Zato smo na spodnjo stran dali še dva elementa, ki pa smo jih priključila na napajanje tako, da so greli spodnjo stran zgornjega elementa. Čisto na dnu smo dodali še en velik aluminijski hladilnik z dvema ventilatorjema. Ko smo priključili na napajanje vse ventilatorje in spodnja dva Peltierjeva elementa, smo dobili na zgornjem elementu temperaturno razliko, ki smo jo lahko regulirali z vklapljanjem in izklapljanjem napajalnika spodnjih dveh elementov. Na ta način smo iz peltierja dobili električno energijo. Merili smo temperaturo spodnje in temperaturo zgornje strani elementa ter napetost na njem. Za porabnik smo uporabili  $1,95\Omega$  upor. Kasneje smo izračunali temperaturno razliko med ploskvama elementa, proizveden tok ter moč. Meritve smo zapisovali na vsakih nekaj sprememb temperature (glej tabelo 2).

Tabela 2: Rezultati meritev Peltierjevega elementa velikosti 4\*4cm

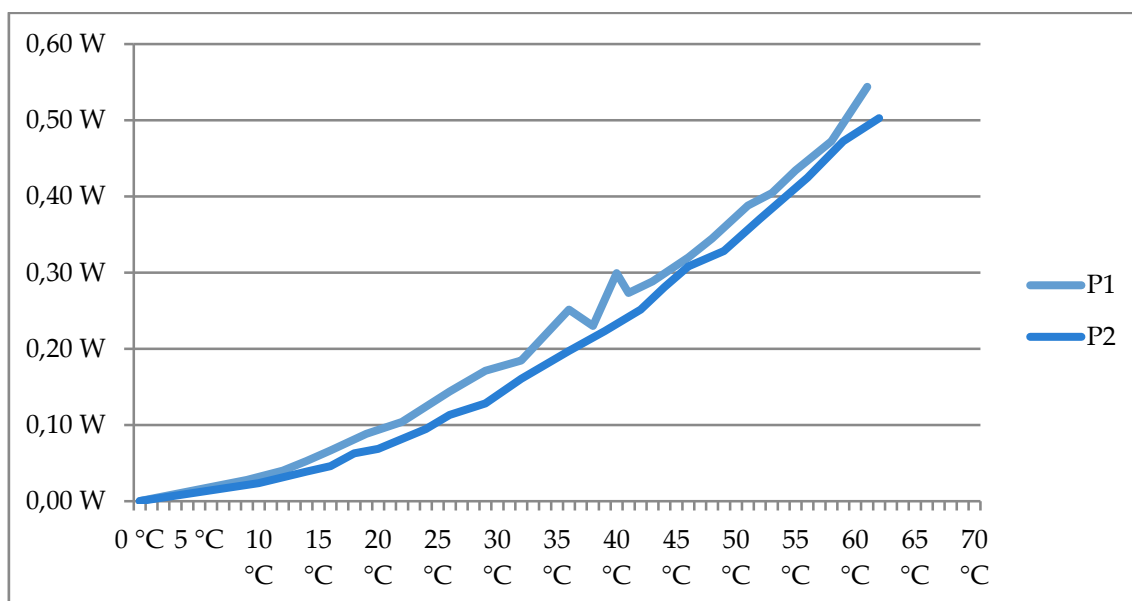
T1 [°C]	T2 [°C]	$\Delta T$	U [V]	R [ $\Omega$ ]	I [A]	P [W]
27	88	61	1,03	1,95	0,528205	0,544051
27	85	58	0,96	1,95	0,492308	0,472615
27	82	55	0,92	1,95	0,471795	0,434051
27	80	53	0,888	1,95	0,455385	0,404382
27	78	51	0,87	1,95	0,446154	0,388154
27	75	48	0,82	1,95	0,420513	0,344821
27	73	46	0,79	1,95	0,405128	0,320051
27	70	43	0,75	1,95	0,384615	0,288462
27	68	41	0,73	1,95	0,374359	0,273282
26	66	40	0,764	1,95	0,391795	0,299331
27	65	38	0,67	1,95	0,34359	0,230205
26	62	36	0,7	1,95	0,358974	0,251282
26	58	32	0,6	1,95	0,307692	0,184615
26	55	29	0,578	1,95	0,29641	0,171325
26	52	26	0,53	1,95	0,271795	0,144051
26	48	22	0,45	1,95	0,230769	0,103846
26	45	19	0,415	1,95	0,212821	0,088321
26	42	16	0,36	1,95	0,184615	0,066462
26	40	14	0,32	1,95	0,164103	0,052513
26	38	12	0,28	1,95	0,14359	0,040205

Drugi poskus je potekal enako, razen da smo zamenjali Peltierjev element za proizvajanje energije z drugim elementom velikosti 4x4cm (glej tabelo 3). Porabnik je bil spet  $1,95\Omega$  upor. Tudi meritve smo zapisovali na podobnih intervalih, kot v prejšnjem poskusu.

T1 [°C]	T2 [°C]	$\Delta T$	U [V]	R [ $\Omega$ ]	I [A]	P [W]
26	88	62	0,99	1,95	0,507692	0,502615
26	85	59	0,96	1,95	0,492308	0,472615
26	82	56	0,91	1,95	0,466667	0,424667
26	78	52	0,85	1,95	0,435897	0,370513
26	75	49	0,8	1,95	0,410256	0,328205
26	72	46	0,775	1,95	0,397436	0,308013
26	70	44	0,74	1,95	0,379487	0,280821
26	68	42	0,7	1,95	0,358974	0,251282
26	65	39	0,66	1,95	0,338462	0,223385
26	62	36	0,62	1,95	0,317949	0,197128
26	58	32	0,56	1,95	0,287179	0,160821
26	55	29	0,5	1,95	0,25641	0,128205
26	52	26	0,47	1,95	0,241026	0,113282
26	50	24	0,43	1,95	0,220513	0,094821
26	46	20	0,366	1,95	0,187692	0,068695
26	44	18	0,35	1,95	0,179487	0,062821
26	42	16	0,3	1,95	0,153846	0,046154
26	40	14	0,275	1,95	0,141026	0,038782
26	36	10	0,215	1,95	0,110256	0,023705

Tabela 3: Rezultati meritev Peltierjevega elementa velikosti 3\*3cm

Iz dobljenih podatkov smo izračunali manjkajoče podatke in naredili graf moči v odvisnosti od spremembe temperature.



**Graf 2: Graf moči v odvisnosti od spremembe temperature za oba Peltierjeva elementa (P1 predstavlja element v velikosti 4\*4 cm, P2 pa element v velikosti 3\*3 cm)**

#### 4.4. Toplotna prevodnost peltierjevega elementa

Ker so peltierjevi elementi sestavljeni iz različnih materialov različnih oblik smo se odločili da bo najzanesliveje toplotno prevodnost elementa kar izmeriti. Na spodnji strani je bil kos bakra, s stalno temperaturo 75°C. Ko smo dosegli konstantno temperaturo smo nanj položili peltierjev element ter na vrh še en kos bakra. Merili smo temperaturo na zgornjem kosu bakra, pretekeli čas ter na koncu še maso zgornjega bakra. S temi podatki smo izračunali toplotno prevodnost (glej tabelo 4).

**Tabela 4: Toplotna prevodnost**

Čas (s)	Temperatura 2 (°C)	Toplotni tok (W)
30	31	43,168
60	36	35,074
90	40	30,57733
120	44	28,329
150	47	25,9008
180	50	24,282
210	52	22,35486
250	54	20,07312

#### 4.5. Opis raziskovalnega modela

Slika 8 prikazuje model hladilnega telesa današnjih računalnikov, na sliki 9 pa je prikazana inovativni model hladilnega telesa. Pogoj da naša tehnološka rešitev deluje je, da je  $T_1 > T_2$ . Ob predpostavki, da procesor pri obeh rešitvah enako obremenjen, lahko sklepamo, da bo v obeh primerih oddana enaka toplotna energija procesorja.

Za obstoječo hladilno rešitev velja:

$$Q_{delovanja} + Q_{ventilatorja} = Q_{skupna}$$

Kjer je posamezni členi formule pomenijo

$Q_{delovanja}$  - toplotna moč, ki jo procesor oddaja,

$Q_{ventilatorja}$  - energija, ki jo ventilator porablja za delovanje,

$Q_{skupna}$  - oddana toplotna energija procesorja.

Za našo tehnološko rešitev velja enačba:

$$Q_{delovanja} + Q'_{ventilatorja} + Q_T = Q_{skupna}$$

Razlaga posameznih členov:

$Q_{delovanja}$  - toplotna moč, ki jo procesor oddaja,

$Q'_{ventilatorja}$  - energija, ki jo ventilator porablja za delovanje,

$Q_{skupna}$  – oddana toplotna energija procesorja

$Q_T$  – del toplotne energije, ki jo v obliki električne energije vrnemo v sistem z namenom hladiti procesor

Glede na predpostavko o enakih energijah  $Q$  skupna lahko formuli enačimo:

$$Q_{delovanja} + Q_{ventilatorja} = Q_{delovanja} + Q'_{ventilatorja} + Q_T$$

Z malo matematične gimnastike pridemo do formule:

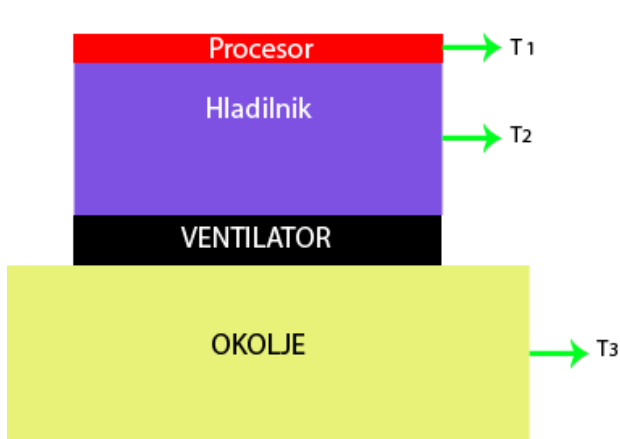
$$Q_{ventilatorja} = Q'_{ventilatorja} + Q_T$$

Glede na to da sta leva in desna stran enačbe enaki lahko izpeljemo sklep, da je:

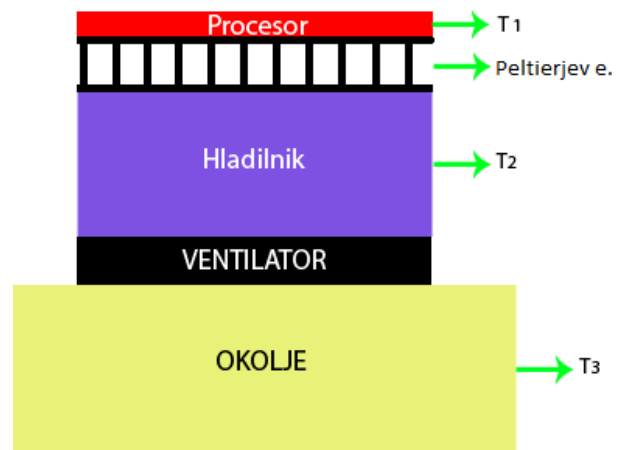
$$Q_{ventilatorja} > Q'_{ventilatorja}$$

## Izkoriščanje odpadne toplote procesorja

Kar pomeni, da v našem sistemu porablamo manj energije za hlajenje procesorja iz omrežja. S tem je hipoteza H2 vsaj teoretično dokazana.



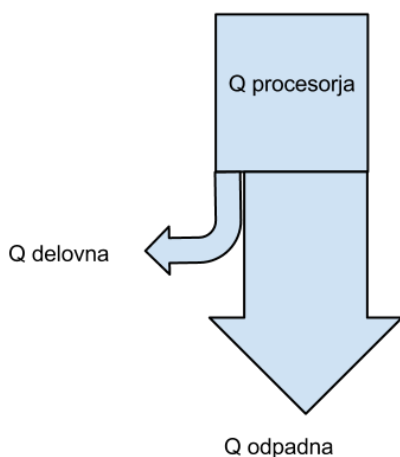
Slika 10: Prikaz obstoječe hladilne rešitve



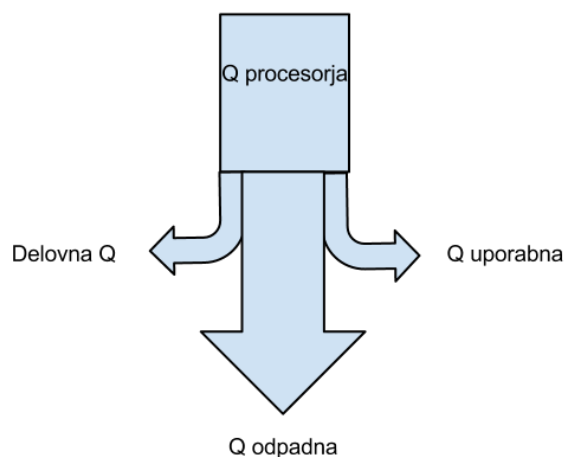
Slika 9: Prikaz naše tehnološke rešitve

### 4.6. Funkcionalna shema

Na levi strani sheme imamo izvor toplotne energije; v našem primeru je to računalniški procesor. Na njem je nameščen Peltierjev element, na Peltierjevem elementu hladilnik, na njem pa še ventilator. Del toplotne energije se pretvori v električno energijo, del pa se prenese preko elementa na hladilnik. Peltierjev element napaja ventilator, ki pa skrbi za prenašanje toplote iz hladilnika v okolico.



Slika 11: Funkcionalna shema obstoječega procesorskega hladilnika



Slika 12: Funkcionalna shema naše inovativne rešitve

## 5. Empirični del

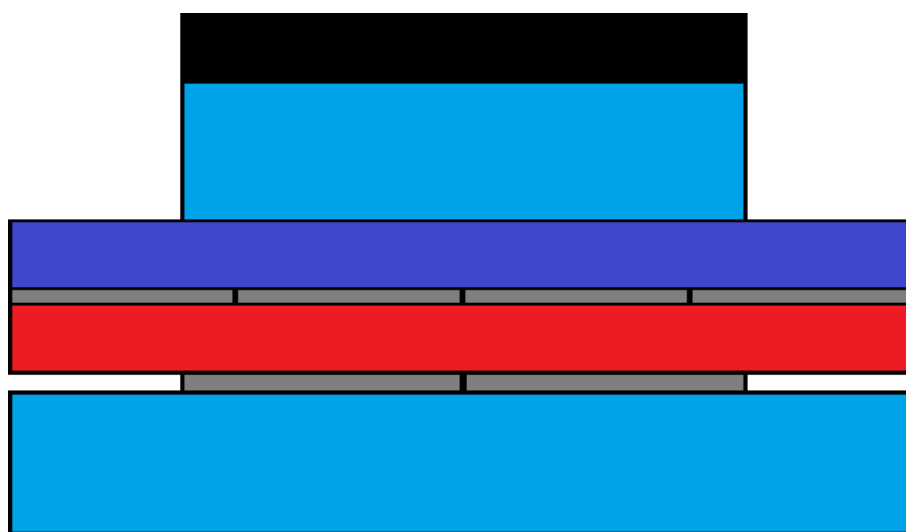
Iz podatkov o toku in napetosti ventilatorja smo izračunali kolikšno moč bomo potrebovali za njegovo delovanje. Ker smo pri prejšnjih meritvah ugotovili, da imajo Peltierjevi elementi sorazmerno nizko napetost za napajanje standardnih 12 voltnih ventilatorjev, smo za test izbrali 5 voltni ventilator, vzet iz prenosnega računalnika. Ta sicer ni bil primerne oblike za hlajenje našega hladilnika, ker pa smo imeli omejen proračun, smo se z tem morali zadovoljiti.

Za tehnično izvedbo poskusa smo potrebovali

- Dva Peltierjeva elementa za gretje
- 12-voltni 8-amperski napajalnik za napajanje grelnih Peltierjevih elementov
- Dva ploščata kosa bakra, za dober toploten stik med elementi in hladilnikom
- Velik aluminijski hladilnik, ki smo ga uporabili za gretje hladne strani grelnih Peltierjevih elementov
- Toplotno prevodno pasto
- Dva multimetra z možnostjo priključitve temperaturne merilne sonde, Tenma 72-774
- 4 Peltierjeve elemente za proizvodnjo električne energije velikosti 3\*3 cm
- 5 voltni ventilator za porabo proizvedene električne energije
- Procesorski hladilnik z ventilatorjem za hlajenje zgornjega dela Peltierjevih elementov za proizvodnjo električne energije
- Napajalnik za napajanje ventilatorja
- Nekaj električnih vodnikov za povezavo

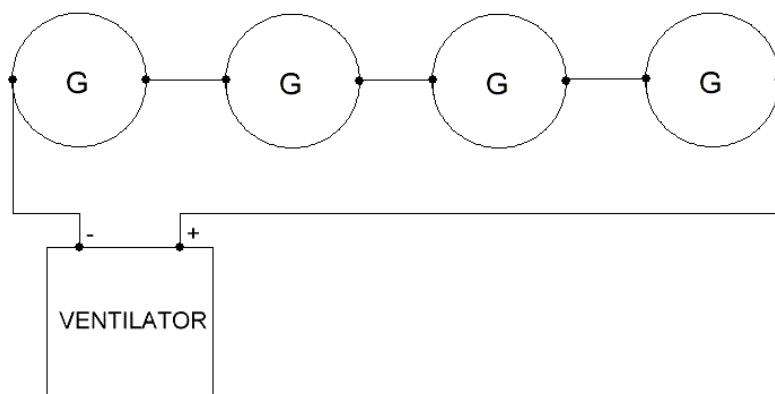
Čisto na dnu »sendviča« je bil velik aluminijski hladilnik, ki je vzdrževal konstantno temperaturo, da sta lahko grelna Peltierjeva elementa oddajala zadostno toplotno moč za proizvodnjo elektrike. Na elementa smo dali bakreno ploščo velikosti 40\*120\*12mm za enakomerno razporeditev toplotne moči. Na ta kos bakra smo dali 4 Peltierjeve elemente za proizvodnjo elektrike, razporejene en ob drugem kot je razvidno iz slike 9. Na tem je bila še ena bakrena plošča velikosti 40\*120\*12mm, na kateri je bil še procesorski hladilnik z ventilatorjem, ki je hladil zgornjo stran Peltierjevih elementov za proizvodnjo električne energije. Med vsemi elementi smo za boljši toplotni stik dodali še toplotno prevodno pasto.

Spodnja Peltierjeva elementa smo priključili na 12-voltni napajalnik, zaradi česar se je njihova zgornja stran začela segrevati, medtem ko je na spodnji strani zaradi predimenzioniranega hladilnika ostala temperatura enaka. Tudi ventilator na vrhu procesorskega hladilnika smo priključili na 12-voltni napajalnik. Zaradi tega smo dobili na zgornji strani »proizvajalnih« Peltierjevih elementov nižjo temperaturo kot na njihovi zgornji strani, s čimer so elementi začeli proizvajati električno energijo. Vse Peltierjeve elemente, ki so proizvajali električno energijo, smo vezali zaporedno, da smo dobili na izhodu čim večjo napetost za napajanje ventilatorja. Ventilator se je začel vrteti že pri majhni temperaturni razliki, ko pa se je le ta povečevala, je ventilator že močno pihal.



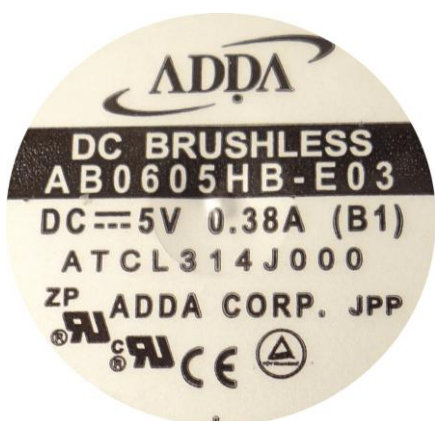
Slika 13: Model merjenja

Peltierjeve elemente smo vezali zaporedno (glej sliko 12).

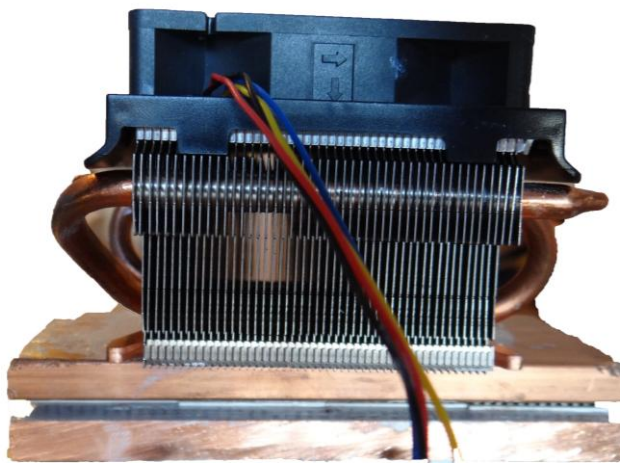


Slika 14: Električna shema priklopa peltierjevih elementov

Na izhod pa smo priključili ventilator nazivne napetosti 5 voltov (glej sliko 13). Napajalna napetost ventilatorja v našem poskusu je dosegla 4.1 volta.



Slika 17: Podatki o porabi ventilatorja



Slika 16: Fizičen izgled poskusa

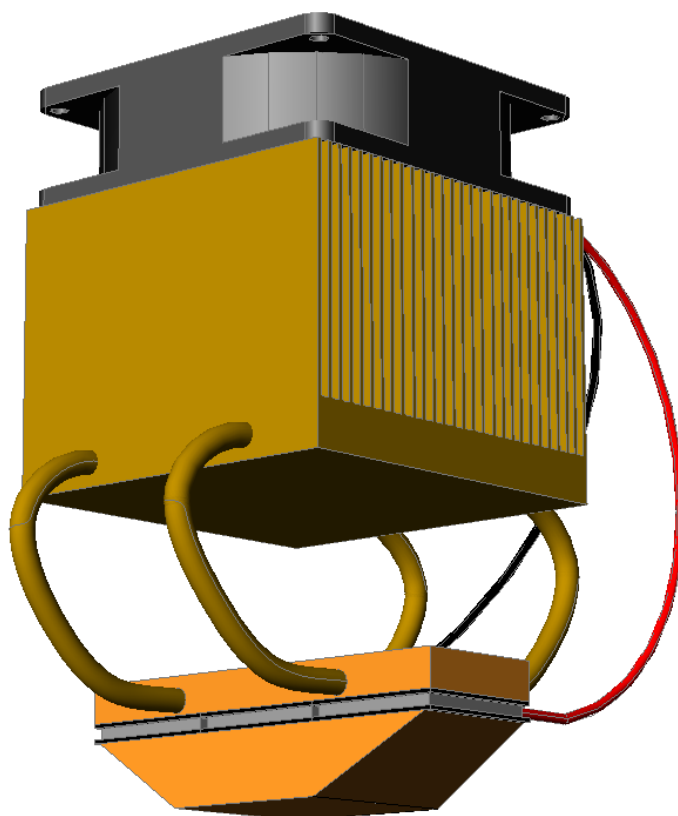


Slika 15: Slika gnanega ventilatorja



### 5.1. Opis »montažne« tehnološke rešitve

Cilj našega izdelka je pretvarjati odvečno toplotno energijo v električno energijo s pomočjo Peltierjevih elementov. Izdelek bi lahko namestili na procesor namiznih računalnikov in tako nekoliko zmanjšali porabo električne energije računalnika, hkrati pa bi računalnik oddal manj toplote v prostor. Računalniki so še posebej primerni, saj je toplotna prevodnost Peltierjevih elementov sorazmerna s toplotno energijo, ki jo današnji procesorji oddajajo. Pridobljeno električno energijo bi lahko tudi koristno porabili za napajanje ventilatorja, saj je proizvedena moč zadostna za napajanje le-tega. Odvečna bi bila tudi vsakršna regulacija obratov ventilatorja. Bolj kot bi se procesor segrel, več električne energije bi elementi proizvedli, višji bi bili obrati ventilatorja, hladnejši bi bil procesor.



Slika 18: 3D tehnološka rešitev montaže hladilnega elementa

Med procesor in hladilnik bi namestili Peltierjeve elemente in tako dobili električno energijo za napajanje ventilatorja. Ker pa omenjeni elementi proizvedejo sorazmerno nizko napetost, bi uporabili ventilator, ki deluje na napetosti 5 voltov namesto standardnih 12-voltnih. Hladilni sistem bi lahko vgradili v osebni računalnik tudi sami doma. Za pritrditev bi uporabili standardna podnožja modernih procesorjev, pri čemer se ne bi omejevali na vrsto podnožja procesorja. Na voljo bi bili nosilci za različne procesorje.

Znano dejstvo je, da je temperatura v ohišju računalnika višja od sobne temperature v kateri računalnik deluje (glej stran 12). Zaradi tega bi obstajala nevarnost, da bi se obe strani hladilnega sistema segrele. To bi pomenilo, da bi Peltierjevi elementi prenehali proizvajati električno energijo, s čimer bi se ventilator ustavil, procesor pa pregrel. Naš hladilni sistem bi bil zato nekoliko višji, bil pa bi tudi bližje odprtini za dovod »svežega« zrak. S tem bi zagotovili zadostno temperaturno razliko, da se ventilator ne bi ustavil tudi v vročih dneh. Če bi bil tak hladilnik izdelan samo iz polnega kosa materiala, bi bil pretežek za nosilce in bi lahko uničil osnovno ploščo računalnika, zato bi med Peltierjeve elemente in hladilnik namestili t.i. toplotne cevi (ang. heat pipe), ki zelo dobro prevajajo toplotno energijo in so preproste za obdelavo.

Končen izdelek bi bil cenovno in tehnološko primeren za masovno uporabo v osebnih računalnikih.

## 6. Diskusija

S pomočjo zbranih rezultatov lahko rečemo, da so Peltierjevi elementi zelo uporabni za proizvodnjo električne energije. Njihova cena je sorazmerno nizka, tj. od 2 evra naprej. Razlikujejo se predvsem po izkoristku in kvaliteti. Po nekaterih podatkih smo zasledili, da imajo »boljši« Peltierjevi elementi izkoristek tudi do 10%. Morda se sliši malo, vendar če to primerjamo s solarnimi celicami, ki imajo izkoristek približno 11%, ugotovimo, da je izkoristek Peltierjevih elementov primerljiv. Elementi imajo zelo široko možnost uporabe. Uporabljali bi jih lahko v hibridnih avtomobilih za polnjenje akumulatorjev med delovanjem motorja. Iz njih bi lahko celo postavili elektrarno. Na spodnji strani bi naredili dober toplotno prevoden stik z zemljo, na zgornji strani pa bi bila nekakšna kovinska konstrukcija. Največ električne energije bi dobili poleti in pozimi, zaradi največjih temperaturnih razlik med zemljo in zrakom. Kakorkoli, možnosti za njegovo uporabo je veliko, njihovo rentabilnost pa bi bilo potrebno dodobra raziskati.

Pri raziskovalni nalogi smo se osredotočili predvsem na možnost uporabe odvečne toplotne energije pri računalniških procesorjih. Teoretično smo ugotovili, da bi se dalo narediti procesorski hladilnik, ki bi sam proizvajal električno energijo za napajanje svojega ventilatorja. Posledično bi računalnik porabil nekoliko manj električne energije, saj za napajanje ventilatorja ne bi potreboval dodatnega električnega vira. Poleg tega bi procesor v ozračje oddal manj toplotne energije, saj bi se pretvorila v električno.

Če bi našo tehnološko rešitev vgradili v samo en računalnik bi bila njegova poraba resda manjša kvečjemu 2 vata, njegov izpust toplotne energije v ozračje pa manjši za 2 vata. Za primer vzemimo, da je na svetu 1 milijarda računalnikov in da bi vsak računalnik lahko porabil 2 vata manj električne energije. Če vzamemo povprečno moč električne energije, ki jo je proizvedla naša nuklearna elektrarna decembra 2011 v Krškem ugotovimo, da bi lahko v svetu ugasnili kar 2883 elektrarn v zmogljivosti naše nuklearke. To je sicer možno samo v teoriji, saj vsi računalniki na svetu ne morejo biti prižgani in biti obremenjeni na 100%.

### 6.1. Vrednotenje hipotez

Prvo hipotezo »možno je koristno uporabiti odpadno toploto procesorja« smo zanesljivo potrdili, saj nam je uspelo pretvoriti del toplotne energije v električno.



Slika 19: Potrjeno

Druge hipoteze »Rentabilno je koristiti odpadno toploto procesorja glede na stopnjo razvoja.« ne moremo ne potrditi in ne ovrsti, saj zaradi finančnih omejitev nismo imeli možnosti testiranja dražjih, zmogljivejših peltierjevih elementov.

Tretjo hipotezo »Peltierjev element je primeren za pretvorbo toplotne energije procesorja v elektriko.« smo potrdili, saj je delovna temperatura procesorja primerna za proizvodnjo električne energije s peltierjevimi elementi. Tudi toplotna prevodnost naših elementov je zadoščala maksimalni toplotni moči, ki jo lahko oddajo moderni procesorji.

Zaradi finančnih razlogov nismo izvedli praktične rešitve, zaradi česar nismo mogli preveriti hipoteze H3. Glede na podatke, ki smo jih dobili s študijo virov lahko sklepamo, da je možno vsaj teoretično narediti delujočo tehnološko rešitev, ki je prikazana na sliki 12.

## 7. Zaključek

Odpadna toplota, ki nastaja pri delovanju vseh naprav, še posebej pa električnih ima velik neizkoriščen potencial. Z razvojem elementov, ki znajo pretvoriti toplotno energijo pretvoriti v električno so se odprle možnosti izkoristiti odvečno toploto še kaj drugega kot ogrevanje.

V naši raziskovalni nalogi smo se posvetili raziskovanju inovativne rešitve za ponovno uporabo odpadne toplote procesorja. Z uporabo peltierjevi elementov smo prišli do električne energije, ki smo jo porabili za napajanje hladilnega ventilatorja in s tem posredno za hlajenje procesorja.

Z morebitno potrditvijo inovativne rešitve s prejšnjega poglavja bi bilo smiselno raziskati o zgradbi novega hladilnega elementa, s katerim bi zamenjali obstoječe rešitve hlajenja procesorja. Pri tem bi morali upoštevati predvsem ceno in način montaže.

S kombiniranjem različnih hladilnih elementov in z meritvami na merjencu smo prišli do empiričnih podatkov, ki nas vodijo k sklepu, da prototip hladilnega telesa učinkovitejši, saj za enak hladilni učinek porabimo manj električne energije iz omrežja. S tem hipotezo 2 potrjujemo.

Sicer obstaja teoretična rešitev za potrditev tretje hipoteze, a ker hipoteza govori o praktični (tehnološki) rešitvi, ki pa je zaradi finančnih razlogov nismo izvedli, moramo tretjo hipotezo zavrniti. Kar ne pomeni, da je ni možno izvesti.

## 8. Viri (Literatura)

- I. Kuščer, A. Moljk; Fizika – 2. Del; Državna založba Slovenije; Ljubljana, 1984; stran 45
- R. Wechtersbach; Informatika: Učbenik za srednje izobraževanje; Založba Saji; Ljubljana, 2005; stran 119
- [http://news.nationalgeographic.com/news/2004/12/1206\\_041206\\_global\\_warming.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2004/12/1206_041206_global_warming.html)
- <http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/anomalies.php>
- [http://www.stat.si/novica\\_prikazi.aspx?id=4384](http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4384)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_cooling](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cooling)
- [http://sl.wikipedia.org/wiki/Termoelektri%C4%8Dni\\_pojav](http://sl.wikipedia.org/wiki/Termoelektri%C4%8Dni_pojav)
- <http://www.geeky-gadgets.com/green-gadgets-msis-develops-a-self-powered-motherboard-fan/>
- [http://www.nek.si/sl/o\\_nek/proizvodnja/](http://www.nek.si/sl/o_nek/proizvodnja/)

### 8.1. Viri slik

- <http://i199.photobucket.com/albums/aa6/witchbrow/Decorated%20images/confirmed.jpg>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect)
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Intel\\_CPU\\_Pentium\\_4\\_640\\_Prescott\\_bottom.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Intel_CPU_Pentium_4_640_Prescott_bottom.jpg)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_cooling](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_cooling)