

Peltierovy články a jejich využití v průmyslu komerční bezpečnosti

Peltier elements and their use in the commercial security industry

Michal Čech

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal ČECH**
Osobní číslo: **A08308**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Peltierovy články a jejich využití v průmyslu
komerční bezpečnosti**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte princip Peltierova jevu.
2. Seznamte se s materiály používanými při výrobě peltierových článků.
3. Vypracujte přehled aplikací těchto zařízení v průmyslu komerční bezpečnosti.
4. Proveďte průzkum trhu s peltierovými články.
5. Porovnejte nabídky podle ceny, výkonu či jiných parametrů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BONNEFILLE, Robert a ROBERT, Jack. **Přímá přeměna energie. 1. vyd. Praha: SNTL, 1977. 155 s. Řada elektrotechn. literatury.**
2. MIKYŠKA, Ladislav. **Termoelektrické články. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. ISBN 301-05-35.**
3. FUKÁTKO, Tomáš. **Teplo a chlazení v elektronice. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-199-3.**
4. Y. **Contribution a létude de leffet Peltier. 1. vyd. Dakar: Univ. de Dakar, 1967. ISBN ABA007.**
5. ROWE. **Handbook of Thermoelectrics. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1995. ISBN 0-8493-0146-7.**
6. RIPKA, Pavel. **Senzory a převodníky. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.**
7. FOIT, Julius. **Základy elektroniky. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04236-6.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



L.S.



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá Peltierovými články a jejich využitím v průmyslu komerční bezpečnosti. Obsahuje podrobný popis principu Peltierova článku včetně výčtu hlavních výhod a nevýhod tohoto typu chlazení. Popsány jsou materiály používané při výrobě a konkrétní provedení jednotlivých typů článků. Zmíněny jsou také různé způsoby montáže těchto zařízení. Závěr teoretické části obsahuje přehled aplikací využívajících principu peltierova chlazení v průmyslu komerční bezpečnosti. Praktická část se zaměřuje na průzkum českého trhu s Peltierovými články. Jednotlivé články jsou porovnávány podle ceny, výkonu, účinnosti a dalších dostupných informací.

Klíčová slova:

Peltierův článek, Peltierův jev, Termoelektrický modul

ABSTRACT

The work deals with the Peltier's modules and their use in commercial security industry. It contains a detailed description of the Peltier's principle, including the main advantages and disadvantages of that type of cooling. The materials and concrete design of specific modules used in manufacturing are described. Mentioned are also different ways of mounting these devices. The last chapter of the theoretical part contains a list of applications using the Peltier's principle of cooling in the commercial security industry. The practical part is focused on the survey of the Czech market with Peltier's modules. Individual modules are compared by price, capacity, effectiveness and other available information.

Keywords: Peltier's modules, Peltier effect, Thermoelectric's modules

Poděkování, motto

Chtěl bych na tomto místě poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lubomír Macků, Ph.D. za ochotu, trpělivost a cenné rady při psaní této práce. Také bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu během studia.

„Nezáleží na tom, s čím si přišel, ale s čím odcházíš.“

Neznámý autor

Prohlašuji, že

beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;

beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;

byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);

beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TERMOELEKTRICKÝ JEV	11
1.1 SEEBECKŮV JEV.....	12
1.1.1 Kontaktní napětí	12
1.1.2 Termoelektrické napětí.....	14
1.2 PELTIERŮV JEV	15
1.2.1 Výpočet Peltierova tepla	15
1.2.2 Termoelektrický článek se dvěma spoji	16
1.3 THOMSONŮV JEV	17
2 PELTIERŮV ČLÁNEK	19
2.1 MATERIÁLY	19
2.2 OMEZENÍ UŽÍVÁNÍ NEBEZPEČNÝCH MATERIÁLŮ	20
2.3 KONSTRUKCE PELTIEROVA ČLÁNKU	21
2.3.1 Termočlánek.....	21
2.3.2 Keramická deska	22
2.3.3 Kaskády.....	22
2.4 ROZDĚLENÍ PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ	23
2.4.1 Dělení dle výkonu	24
2.4.2 Dělení dle Geometrie	24
2.5 ZPŮSOBY MONTÁŽE PELTIEROVA ČLÁNKU	25
2.5.1 Montáž pomocí mechanického spojení	25
2.5.2 Montáž pomocí pájení.....	26
2.5.3 Montáž pomocí lepení.....	27
2.6 TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST.....	28
3 VYUŽITÍ PELTIEROVA JEVU V PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZPEČNOSTI	29
3.1 TYPICKÉ APLIKACE TERMOELEKTRICKÉHO MODULU V PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZPEČNOSTI	29
3.2 VÝHODY A NEVÝHODY PELTIEROVA ČLÁNKU	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
4 PRŮZKUM TRHU S PELTIEROVÝMI ČLÁNKY	32
4.1 PRODEJCI NA WEBU	32
4.2 TYPY PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ	34
4.2.1 Standartní Peltierovy články	34
4.2.2 Vícetupňové Peltierovy články.....	40
4.2.3 Peltierovy články HighTech.....	43
5 SROVNANÍ PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ	49

5.1	CENA.....	49
5.2	VÝKON.....	50
5.3	ÚČINNOST	50
5.4	CELKOVÉ SROVNÁNÍ - SOUHRN	51
ZÁVĚR		55
CONCLUSION		56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		57
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		59
SEZNAM OBRÁZKŮ		61
SEZNAM TABULEK.....		62
SEZNAM PŘÍLOH.....		63

ÚVOD

Úkolem průmyslu komerční bezpečnosti je hlavně ochrana práva vlastnictví právnických osob a fyzických osob. V dnešní době panuje obecné povědomí, že k bezpečnosti občana či právnické osoby by měla stačit ochrana ze strany státu (armáda ČR, POLICIE ČR). Ve skutečnosti nám bohužel stát není schopen poskytnout vždy dostatečnou ochranu. Je třeba si uvědomit, že v otázce bezpečnosti odpovídá za sebe a svůj majetek především každý jednotlivec. Tak jako v jiných průmyslových oblastech i v oblasti soukromých bezpečnostních služeb existují erudovaní odborníci. Ti jsou schopni nejen prostředky ostrahy našeho majetku zhotovit, ale dokáží je aplikovat i v praxi.

Technické prostředky používané v průmyslu komerční bezpečnosti dosahují v současnosti velmi vysoké úrovně. Nejnovější poznatky vědy a techniky jsou aplikovány na konkrétní zařízení. Tato zařízení ke své správné funkci často potřebují dodržení specifických podmínek. Mimo jiné se jedná například o určitý rozsah teplot, či o přesně definovanou konkrétní teplotu. Jedním ze způsobů, kterými lze dosáhnout přesné teploty je i termoeletrické chlazení, čímž se zabývá tato bakalářská práce. Zaměřuje se především na prostředky ostrahy zdraví a majetku. Pro takový typ chlazení se využívá Peltierův článek, což je zařízení, které v dnešní době nachází uplatnění v mnoha odvětvích lidské činnosti, a to zejména pro již výše zmiňované chlazení. Peltierovy články mohou být použity jako chladiče zahřívajících se polovodičových součástek v elektronice, v laboratořích jako plochy pro chlazení malých preparátů nebo například pro přenosné chladničky a chladičové boxy. Oproti klasickým tepelným čerpadlům mají velké výhody – při chlazení jsou bezhlučné, nezáleží na jejich poloze a jejich teplota se dá rychle a přesně měnit. Bohužel ale nedosahují tak velkých chladičových výkonů. Domnívám se, že na své využití do budoucna teprve čekají a že se třeba za pár let budou používat mnohem častěji než nyní.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TERMOELEKTRICKÝ JEV

V roce 1822 objevil německý fyzik Thomas Johann Seebeck (1770-1834), že pokud máme obvod složený ze dvou různých kovů a naměříme teplotní rozdíl ΔT na koncích obvodu, vzniká zde napětí ΔU (Seebeckův jev). O pár let později v roce 1834 francouzský hodinář J. Ch. Peltier (1785-1845) zpozoroval uvolňování a pohlcování tepla v místě styku dvou různých kovů při průchodu stejnosměrného proudu. Jestli se místo bude ochlazovat, zahřívat záleží na směru toku proudu (Peltierův jev). Uvedené jevy spolu úzce souvisí. V roce 1851 experimentálně potvrdil oba tyto jevy na základě termodynamiky skotský fyzik William Thomson (1824-1907), který je spíše znám pod svým šlechtickým jménem lord Kelvin of Largs, který objevil další jev (Thomsonův jev). Zjistil, že pokud homogenním vodičem, ve kterém je teplotní rozdíl, prochází stejnosměrný proud, tak se objeví Thomsonovo teplo, které může uvolňovat nebo pohlcovat další množství tepla. Proto Peltierův a Thomsonův jev nelze od sebe oddělit. Všechny výše uvedené jevy můžeme pojmenovat Termoelektrický jev.

Kvůli Michaelu Faradayovi (1791-1867), který v roce 1831 objevil elektromagnetickou indukci, nebyla termoelektrickému jevu dopřána patřičná pozornost. Teprve koncem 19. století se začali další vědci věnovat přeměnám elektrické energie v tepelnou a naopak. V roce 1885 vypočítal lord Rayleigh (1842-1919) účinnost termoelektrického generátoru pro přeměnu tepelné energie na elektrickou. Později se ukázalo, že jeho výpočet účinnosti nebyl dostatečně přesný, ale důležitější bylo, že se jednalo o velmi malou hodnotu. Proto se termoelektrické jevy staly pouze okrajovou záležitostí fyziky.

O mírný posun dopředu se přičinil v roce 1909 německý fyzik E. Altenkirch. Ten zjistil, že doposud používané kovové materiály nejsou vhodné pro termoelektrické generátory. Již roku 1925 ruský akademik A.F.Ioffe na základě Peltierova jevu sestavil chladicí zařízení, kde využil polovodičů. Účinnost takového zařízení se pohybovalo kolem 4 %. Další jeho práce byla první termoelektrická chladnička, která byla v roce 1958 představena v Bruselu a přitahovala patřičnou pozornost celé společnosti. [1,9]

1.1 Seebeckův jev

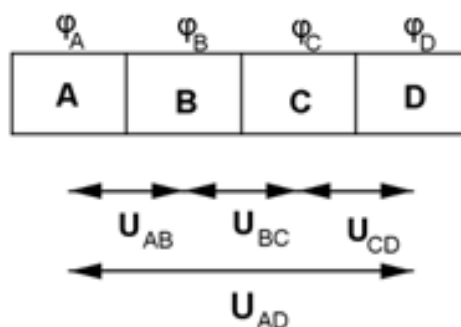
V obvodu tvořeném z různých vodičů spojených do smyčky za běžných okolností nevzniká žádné elektromotorické napětí (dále jen EMN). V tomto případě obvodem neprochází ani elektrický proud, pokud nebyl do obvodu přiložen zdroj elektromotorického napětí.

Seebeck náhodným pokusem zjistil, že předchozí tvrzení platí jenom za předpokladu stejné teploty v celém obvodu. Pokud některá styčná plocha (spoj) má rozdílnou teplotu od ostatních styčných ploch (spojů), začne obvodem protékat malý, ale měřitelný elektrický proud. To znamená, že v obvodu nám vznikl zdroj EMN. Právě rozdílná teplota jednotlivých spojů je příčinou vzniku EMN. Pro lepší pochopení výše uvedeného si ukážeme děj na styčných plochách v obvodu při stejných teplotách na spojích a dále využijeme získané výsledky k lepšímu porozumění chování zapojení při rozdílných teplotách spojů.[9]

1.1.1 Kontaktní napětí

V roce 1797 zjistil Alessandro Volta (1745-1827), že při dotyku dvou rozdílných kovů vzniká kontaktní napětí (viz. rovnice 1.1). Velikost napětí závisí na čistotě kovů a na čistotě jejich povrchů. [9]

Spojíme-li za sebe několik rozdílných kovů, tak výsledek napětí mezi prvním a posledním kovem bude stejné, jako by se tyto kovy dotýkaly přímo. To znamená, že kovy co byly mezi nimi (mezi prvním a posledním kovem) nemají na výsledek žádný vliv. Předchozí tvrzení si dokážeme na následujícím zapojení (viz. Obr. 1) pro čtyři kovy zapojené do série.[9]



Obr. 1 Kontaktní napětí[9]

$$U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A [V] \quad U_{BC} = \varphi_C - \varphi_B [V] \quad U_{CD} = \varphi_D - \varphi_C [V] \quad 1.1$$

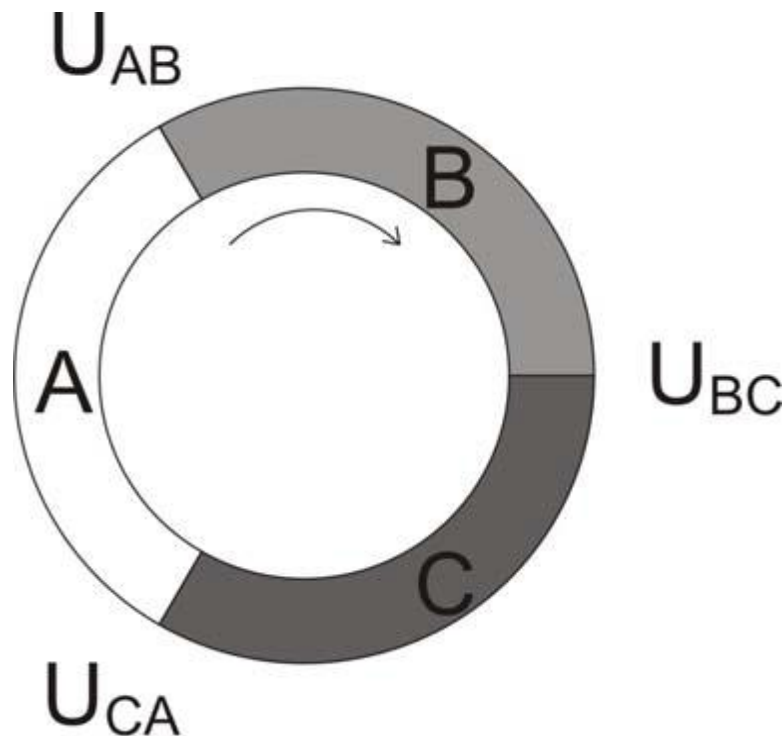
Napětí U [V] mezi kovy A a B je vyjádřeno pomocí symbolu U_{AB} , napětí mezi kovy A a D je vyjádřeno pomocí symbolu U_{AD} atd. φ jsou kontaktní potenciály kovů A, B, C, D [V].

Podle II. Kirchhoffova zákona je součet všech napětí v obvodu roven součtu všech kontaktních napětí (viz. rovnice 1.2) [9]

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_{AD} [V] \quad 1.2$$

Nyní si sestavíme obvod z různých kovů A, B, C (viz. Obr. 2). Výsledné elektromotorické napětí U_E (viz. rovnice 1.3), které je součtem všech tří kontaktních napětí na obvodu, je rovno nule.[9]

$$U_e = U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = (\varphi_B - \varphi_A) + (\varphi_C - \varphi_B) + (\varphi_A - \varphi_C) = 0 [V] \quad 1.3$$

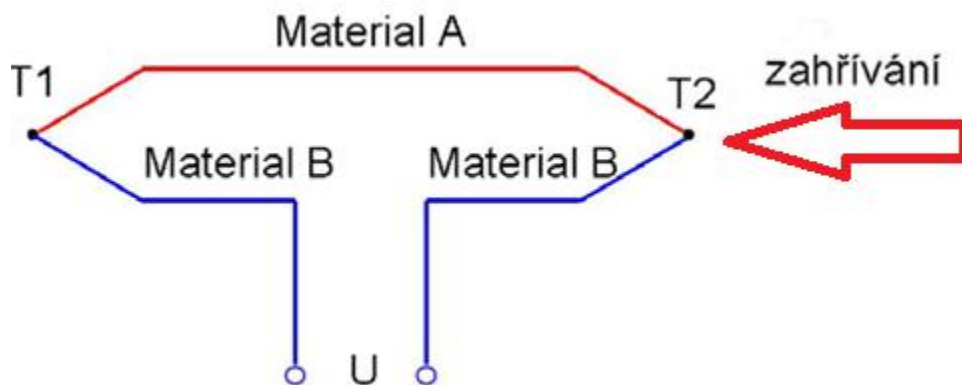


Obr. 2 Obvod složený ze tří různých kovů [4]

1.1.2 Termoelektrické napětí

V předchozí kapitole (viz. 1.1.1) jsme počítali s tím, že teplota na styčných plochách je v celém obvodu stejná. Teď budeme předpokládat rozdílné teploty na kontaktech kovů, díky čemuž začne v obvodu protékat elektrický proud.

Abychom si ověřili Seebeckovo zjištění, sestavíme obvod ze dvou různých kovů (viz. Obr. 3). Jeden kov přerušíme a připojíme na něho voltmetr. Pokud $T_1 = T_2$ tak na voltmetru bude nula. Když ale naměříme teplotní rozdíl $T_1 < T_2$, naměříme na smyčce napětí a začne nám protékat elektrický proud. Velikost napětí úměrně stoupá s rozdílem teplot spojů. Z pokusu vidíme vznik EMN díky rozdílným teplotám spojených míst. Dříve se takové napětí nazývalo termoelektromotorické, dnes je běžnější název termoelektrické. Obvod (viz. Obr. 3) se nazývá termoelektrický článek neboli zkráceně termočlánek.[8]



Obr. 3 Princip Seebeckova jevu [11]

Výpočet Seebeckova termoelektrického napětí vyjádříme pomocí vztahu (viz. rovnice 1.4). Kde $U_s[V]$ je termoelektrické napětí. A libovolný materiál, B je vztažný materiál (obvykle olovo). Seebeckovy konstanty jsou vyjádřeny pomocí symbolů a , b , které jsou vztaženy k olovu. Jedno spojené místo (T_1) udržujeme na konstantní teplotě $\vartheta_0[C]$ a druhý spoj (T_2) zahříváme na teplotu $\vartheta[C]$ (viz. Obr. 3).[8]

$$U_{S_{AB}} = a(\vartheta - \vartheta_0) + \frac{1}{2}b(\vartheta - \vartheta_0)^2 [V] \quad 1.4$$

Díky mnoha pokusům Seebeck sestavil termoelektrickou řadu prvků s názvem *Seebeckova řada*. Proud v obvodu složeném z uvedených prvků (viz. Tab. 1) prochází podle autora při zahřátí od prvků s vyšším řádem (prvky více vlevo), k prvkům s nižším řádem (prvky více vpravo). [9]

Tab. 1 Seebeckova řada[9]

Sb	Fe	Zn	Ag	Au	Sn	Pb	Hg	Cu	Pt	Bi
Antimon	Železo	Zinek	Stříbro	Zlato	Cín	Olovo	Rtuť	Měď	Platina	Bismut

⇒ směr toku proudu ⇒

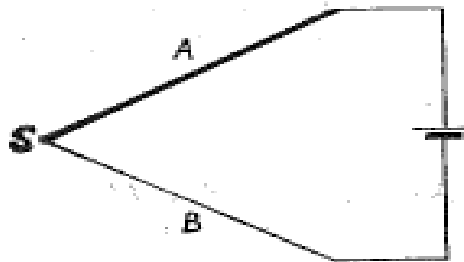
Termoelektrické napětí se zvětšuje přímou úměrou s rozdílem kovů v řadě. Proto můžeme říci, že z uvedené tabulky je nejvýhodnější dvojice Sb-Bi. Seebeck ve své řadě uvedl pouze čisté kovy, ale pro termočlánek se využívají hlavně polovodiče, čímž dosáhneme ještě většího rozdílu a tím vyšších termoelektrických napětí.[9]

1.2 Peltierův jev

V roce 1834 uveřejnil francouzský hodinář Peltier článek o teplotních anomáliích, které pozoroval v místě styku dvou vodičů, kterými procházel elektrický proud. Teplotní anomálie si představíme jako uvolňování nebo pohlcování určitého tepla, které se po objeviteli jmenuje stejně jako jev, tedy teplo Peltierovo. [2]

1.2.1 Výpočet Peltierova tepla

Máme-li obvod (viz. Obr. 4) sestavený ze dvou rozdílných kovů A a B a připojíme na tento obvod zdroj stejnosměrného napětí, začne nám procházet stejnosměrný proud I.



Obr. 4 Termoelektrický článek s jedním spojem [9]

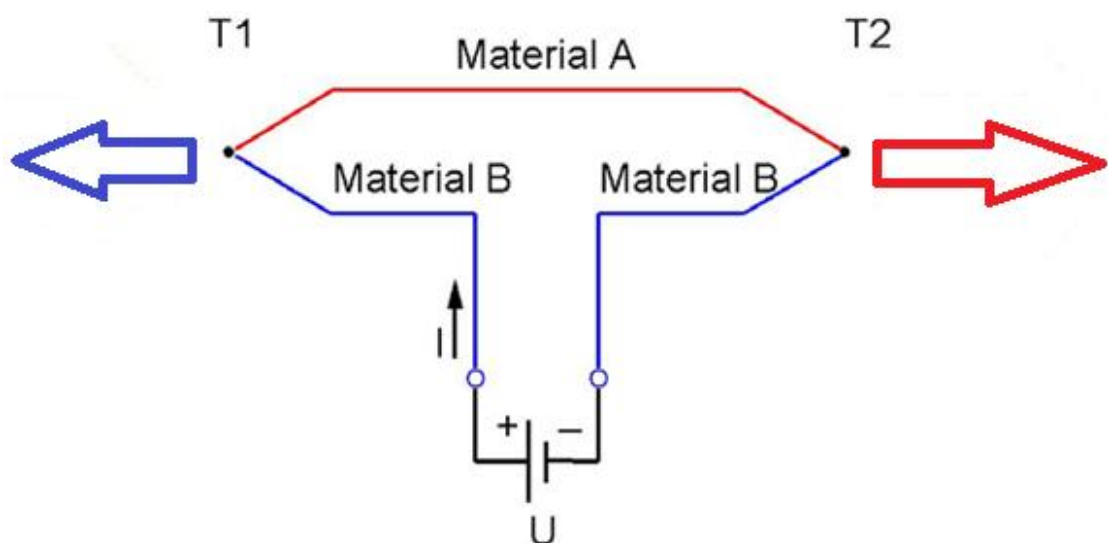
Směr procházejícího proudu nám určí, zda se bude spoj, který je na obrázku zaznačen S, zahřívát nebo naopak ochlazovat. V tomto spoji se bude kromě klasického Jouleova tepla Q_J [J] uvolňovat nebo pohlcovat ještě další teplo, a to Peltierovo Q_P . Pokud zde dochází k uvolňování, tedy zahřívání spoje, značíme ho jako kladné ($+Q_P$). V opačném případě, tedy při ochlazování spoje, jej značíme záporně ($-Q_P$). Výsledné celkové množství tepla Q , které vzniká ve spoji průchodem proudu, je naznačeno v následující rovnici (viz. Rovnice 1.5). [8]

$$Q = Q_J \pm Q_P \text{ [J]} \quad 1.5$$

Kladné znaménko se vztahuje na zahřívání a naopak záporné na chlazení spoje Peltierovým teplem. Na obrázku (viz. obrázek 4) je termoelektrický článek s jedním spojem. Nyní se podíváme, jak se bude chovat termoelektrický článek se dvěma spoji po průchodu stejnosměrného proudu. [8]

1.2.2 Termoelektrický článek se dvěma spoji

Při popisu využijeme zapojení ze stejného obrázku, které bylo použito u popisu Seebeckova jevu (viz. Obr. 3). Pokud připojíme na termočlánek vnější zdroj stejnosměrného napětí - vznikne tzv. Peltierův jev. Obvodem začne procházet elektrický proud, což bude mít vliv na vytvoření teplotního rozdílu mezi oběma spoji. Polarita napětí (směr proudu) nám určí, který ze spojů se bude zahřívát a který ochlazovat. [9]



Obr. 5 Princip Peltierova jevu [11]

Pokud elektrický proud, který dodáváme ze zdroje, teče stejným směrem, jakým tekla u Seebeckova jevu, tak spoj který byl u Seebeckova jevu zahříván, bude i u Peltierova jevu ohříván a naopak spoj na opačné straně ochlazován (viz Obr. 5). [9]

Teplu Q_P vyzařované (pohlcované) vlivem průchodu elektrického proudu lze vyjádřit vztahem (viz. rovnice 1.6). Kde Π je Peltierův koeficient [V], který můžeme dále rozepsat pomocí rovnice (viz. rovnice 1.7). I [A] je stejnosměrný proud a čas je t [s]. [1]

$$Q_P = \Pi I t [J] \quad 1.6$$

Peltierův koeficient je daný následujícím vztahem (viz. rovnice 1.7), kde α [ø] je součinitel termoelektrického napětí. T [K] je absolutní teplota spoje. [1]

$$\Pi = \alpha T [\text{ø}] \quad 1.7$$

Peltierův koeficient nemá vliv na polaritu proudu I , ale úměrně roste s teplotou na vodičích.

1.3 Thomsonův jev

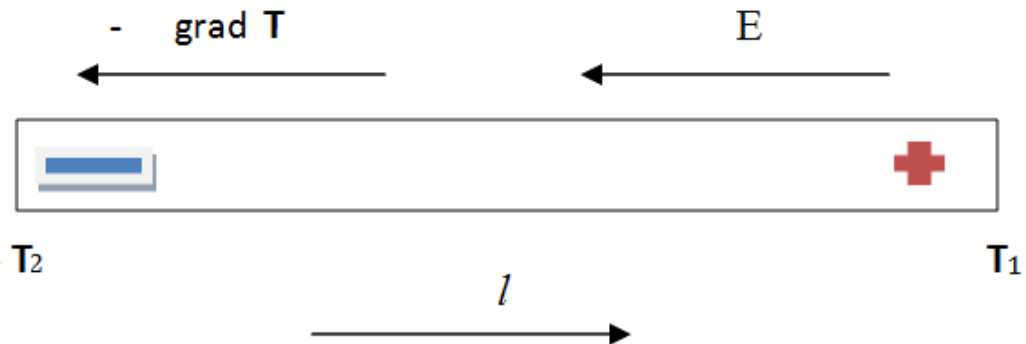
Jako třetí v pořadí termoelektrický jev objevil a experimentálně potvrdil v roce 1857 William Thomson. Thomsonův jev se využívá při měření teploty pomocí termočlánku. [8]

Termoelektrické napětí termočlánku by mělo podle teorie přímo úměrou stoupat s rozdílem teplot na obou jeho koncích. Z praxe je zřejmé, že napětí je kvadratickou funkcí rozdílu teplot, jak je patrné ze vzorce (viz. rovnice 1.4) založeného na empirické zkušenosti autora publikace [9].

Právě tyto rozdíly mezi teorií a praxí přivedly Thomsona k dalším pokusům, které ověřily, že termoelektrické napětí vzniká i v jednom vodiči, pokud na jeho vedení jsou měřitelné rozdíly teplot. Vlastnosti vodiče se změní, pokud se změní teplota na vodiči, a to vede ke vzniku dalšího termoelektrického napětí U_T (tzv. Thomsonovo napětí).

Máme stejnorodou tyč o délce l (viz. Obr. 6). Jeden konec zahříváme na teplotu T_1 a opačný udržujeme na konstantní teplotě T_2 ($T_1 > T_2$). Po nějaké době nastane stav, že teplota v kovové tyči bude klesat spojitě od teplejšího konce k chladnějšímu. Teplotní rozdíl (viz. rovnice 1.8) mezi konci tyče bude ΔT , z toho teplotní gradient (*grad* T) se rovná rozdílu teploty (ΔT) na jednotku délky (l [m]). Symbol E v obrázku 6 vyjadřuje intenzitu elektrického pole uvnitř tyče. [8]

$$\frac{\Delta T}{l} = \text{grad } T \left[\frac{K}{m} \right] \quad 1.8$$



Obr. 6 Homogenní tyč [9]

Díky teplotnímu rozdílu na začátku a konci tyče vznikne Thomsonovo termoelektrické napětí U_T , které je úměrné teplotnímu poklesu tj. $-\text{grad } T$ (Záporné znaménko udává, že teplota klesá s délkou tyče, kterou měříme ve směru od teplejšího konce k chladnějšímu, nebo když teplo proudí ve směru klesající teploty (viz. vzorec 1.9).[8]

$$U_T = -\tau \frac{-\Delta T}{l} l [V] \quad 1.9$$

Po zjednodušení a zavedení vzorce (viz. rovnice 1.10) dostaneme vztah:

$$U_T = \tau \text{ grad } T l [V] \quad 1.10$$

Kde $\tau \left[\frac{V}{K} \right]$ je Thomsonův součinitel, který se rovná Thomsonovu termoelektrickému napětí mezi konci na homogenní tyči na vzdálenosti 1 metr, pokud je teplotní rozdíl mezi těmito místy 1K.

2 PELTIERŮV ČLÁNEK

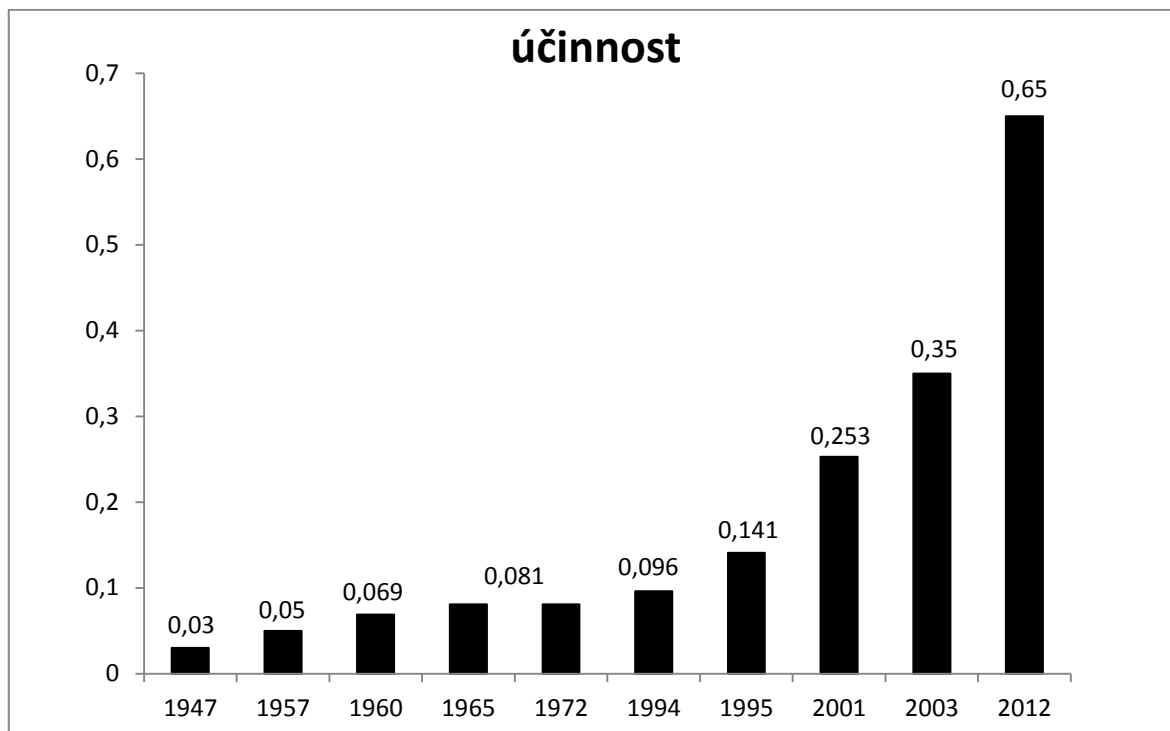
Peltierovy články představují zajímavou alternativu ke konvenčním způsobům chlazení a v současnosti nacházejí stále širší uplatnění. Jedná se především o specializované oblasti, ve kterých vynikají přednosti těchto zařízení: nízké náklady, dlouhá životnost, absence pohyblivých zařízení nebo chemických látek, malé rozměry. Pro svoji činnost vyžadují stejnosměrné napětí. Článek samotný funguje jako "pumpa". Z jedné strany teplo odebírá, na druhé straně teplo předává chladiči. Využívá výše popsaného Peltierova jevu. V této kapitole se zaměříme na konstrukci a možné rozdělení Peltierových článků a na materiály používané při jejich výrobě.[5]

2.1 Materiály

Vhodný termoelektrický materiál se vybírá podle rozsahu teplot, pro které bude termoelektrický modul v provozu použit. Mezi běžně využívané termoelektrické materiály patří např. telurid bismutitý, slitiny teluridu olovnatého a slitiny křemíku a germaniem. Můžeme je rozdělit podle kategorií rozsahu pracovních teplot:

- slitiny křemíku a germania mohou být v pracovním režimu při teplotách až 1300 °C, ale mají nejhorší účinnost ze všech tří kategorií zde uvedených. [5]
- slitiny z teluridu olovnatého mají maximální teplotu kolem 1000 °C, a mají lepší účinnost než výše popsaná slitina. [5]
- Telurid bismutitý a další jeho slitiny pracují maximálně do 450 °C, ale zase mají největší koeficient účinnosti. [5]

V následujícím grafu (viz. Obr. 7) vidíme nárůst termoelektrické účinnosti za 65let. V roce 1947, byla na hodnotě 0,03 = 3% (poměr příkonu a výkonu). Skoro půl století potom, tedy v roce 1994, byla hodnota účinnosti na 0,01=10%. Velký nárůst účinnosti přišel na začátku 21. století (2001-2003), kde se hodnota dostala skoro na 0,4 = 40%. Výrazně tomu pomohlo objevení skutteruditů, materiálů vhodných pro termoelektrickou přeměnu v rozmezí teplot 230 – 670°C. K dalšímu zvýšení výkonu pomohlo použití nanostruktur, jako jsou nanovlákná, supermřížky, kvantové jámy nebo nanozrna. [5] Dnes se setkáváme u standartních článků s účinností kolem 0,65 = 65% účinnost.



Obr. 7 Zobrazení účinnosti za posledních 65 let

2.2 Omezení užívání nebezpečných materiálů

V dnešní době používání nebezpečných materiálů při výrobě Peltierových článků upravuje evropská směrnice 2002/95ES neboli RoHS (*Restriction of the use of certain Hazardous Substances*). V ČR je toto nařízení platné od poloviny roku 2006.

Direktiva RoHS zakazuje používání těchto látek:

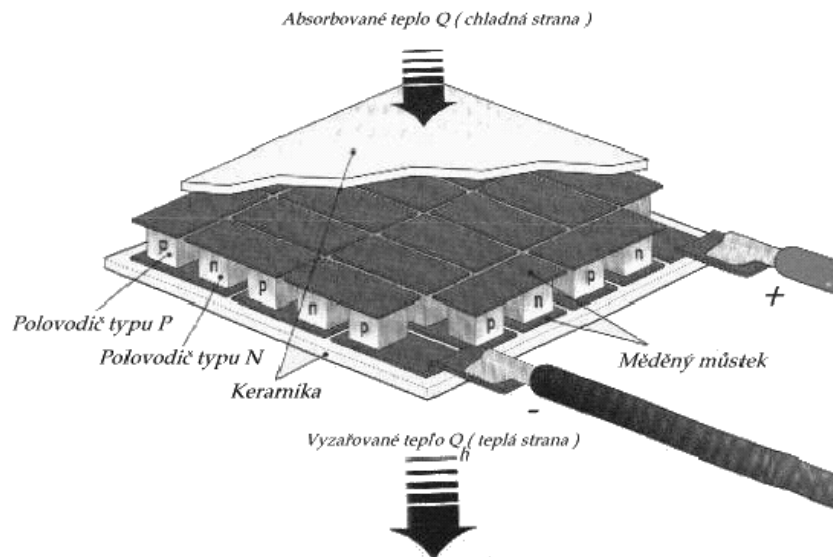
- Kadmium
- Rtuť
- Olovo
- Šestimocný chróm
- Polybromované bifenyly (PBB)
- Polybromované difenylethery (PBDE)

Používání zařízení obsahující uvedené těžké kovy a retardanty hoření (PBB, PBDE) nad určený limit je direktivou zakázáno. Direktiva stanovuje jisté výjimky pro některá zařízení z důvodu nutnosti použití zakázaných látek při technologických postupech výroby.

[12]

2.3 Konstrukce Peltierova článku

Jedná se o zařízení malých rozměrů. Skládá se z pevných nepohyblivých částí. Základem článku je matrice se spojenými termočlánky vloženými mezi dvěma keramickými deskami.

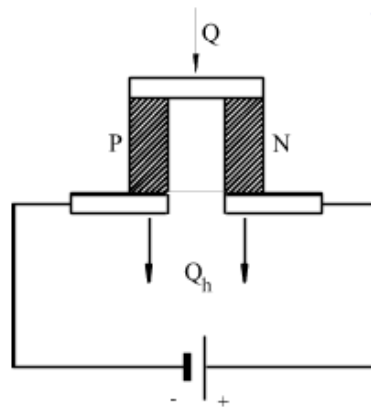


Obr. 8 Konstrukce peltierova článku[11]

2.3.1 Termočlánek

Termočlánek se většinou skládá ze dvou válečků (viz. Obr. 9) opačného typu vodivosti (n a p). Kde Q je teplo absorbované, Q_h značí teplo vyzařované. Tyto vodiče termočlánek jsou připájeny ke kovovému můstku. Termočlánek je základní částí Peltierova článku.

Při pájení se využívají slitiny na bázi cínu a antimonu nebo cínu a olova. Kovový můstek bývá většinou z mědi, kvůli malému měrnému odporu se dobře pájí. Nevýhoda mědi je možnost difuze do polovodiče- což vede k zhoršení vlastností termočlánek. Kvůli špatným výrobním postupům můžou vznikat nežádoucí přechodové odpory. Měděné můstky, jak vidíme na (viz. Obr. 8), zprostředkovávají jak přenos tepla, tak elektrický kontakt. [1]



Obr. 9 Peltierův článek [9]

2.3.2 Keramická deska

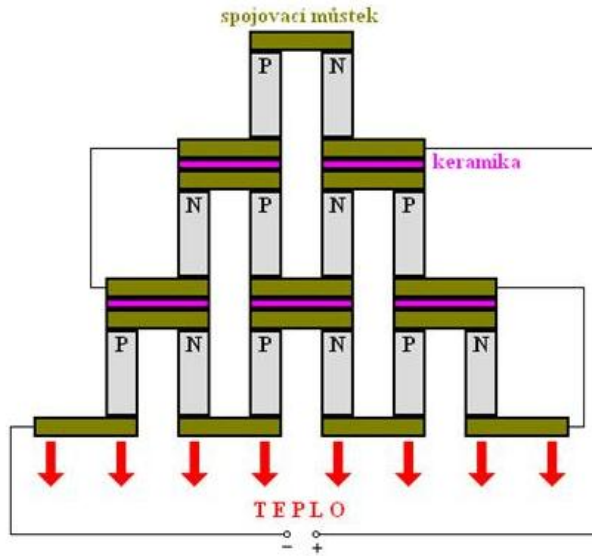
Keramická deska dává potřebnou pevnost Termoelektrickému článku a také elektricky izoluje můstky od chladiče a chlazeného předmětu. Desky se kvůli snížení přechodového odporu vyrábějí z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. Pro výrobu desek se kvůli dobrému poměru cena/výkon využívají materiály založené na oxidu hlinitém (Al_2O_3). [11]

2.3.3 Kaskády

Jednotlivé termobaterie se obvykle skládají do série, tím vzniknou tzv. „Kaskádní chladicí termobaterie“. Skládání Peltierových článků do kaskád se využívá pro dosažení větších teplotních rozdílů při zachování stávajícího chladicího výkonu. Z následujícího obrázku (viz. Obr. 10) vidíme, že se jedná o „pyramidu“. Termobaterie se skládají jedna na druhou. K chlazení se využívá pouze nejvyšší vrstva, která je tedy nejmenší. Nevýhoda vícestupňových termobaterií je, že s rostoucím počtem kaskád rychle rostou provozní náklady. Proto se takových typů termobaterie využívá pouze tehdy, když jednostupňové termobaterie nedosahují patřičného příkonu (P^I). Při spojování termobaterie do kaskád se keramické destičky potírají silikonovým tukem, nebo se baterie lepí vhodným lepidlem, které má malý součinitel tepelné vodivosti. Následující rovnice (viz. Rovnice 2.1) vyjadřuje tzv. koeficient optimálního výkonu (COP_{MAX}). Zde Q_C je poměr tepla absorbovaného studenou stranou a příkonu (P^I). [11]

$$COP_{MAX} = \frac{Q_C}{P^I} [W]$$

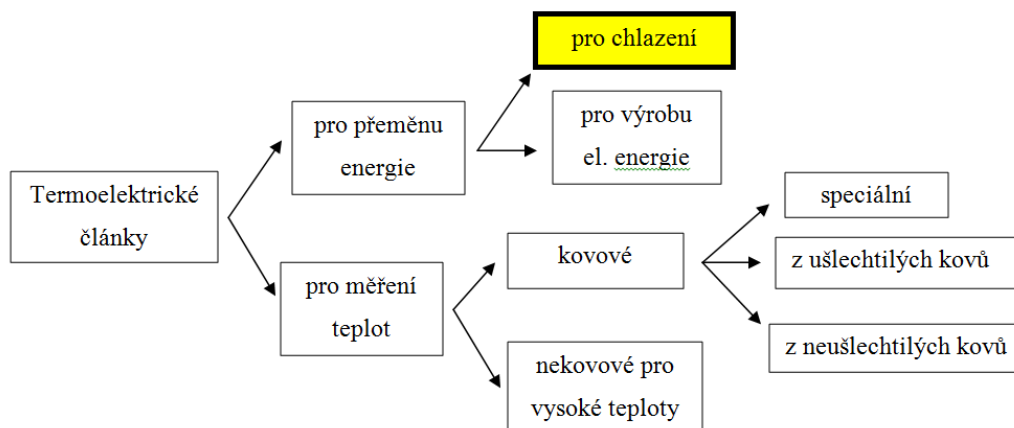
2.1



Obr. 10 Peltierovy termobaterie zapojené do kaskád[11]

2.4 Rozdělení Peltierových článků

Základní rozdělení termoelektrických článků je zobrazeno v obrázku níže (viz. Obr. 11). Vzhledem k zaměření této práce se budeme věnovat převážně využití termoelektrických článků pro chlazení elektrických prvků v průmyslu komerční bezpečnosti (žlutě zvýrazněná část v obrázku).



Obr. 11 Základní rozdělení Termoelektrických článků[2]

Z obrázku 11. vyplývá, že:

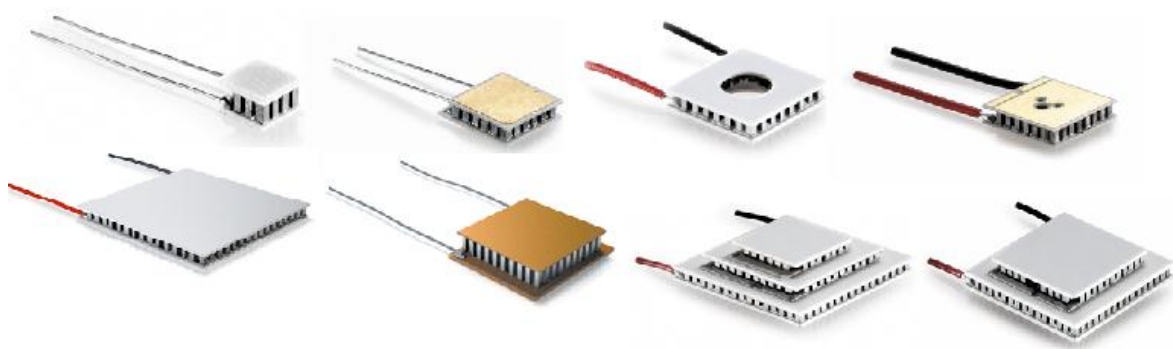
- **Termoelektrické články pro měření teploty** se dále dělí na nekovové, pro vysoké teploty resp. kovové, které dále dělíme podle použitého materiálu na speciální, z ušlechtilých kovů a z neušlechtilých kovů.
- **Termoelektrické články pro přeměnu energie** dále dělí pro účel využití na ochlazování resp. topení nebo pro výrobu elektrické energie. [2]

2.4.1 Dělení dle výkonu

U komerčně dostupných Peltierových článků se výkon pohybuje od řádů Mw , až po stovky W . Výroba článků do výkonu $1 W$ se výrazně liší. Takové články se vyrábí technikou deponování tenkých vrstev. Články vyráběné touto metodou nacházejí stále větší uplatnění. Mikročlánky, jak bychom je také mohli nazvat, využívají pro svoji konstrukci křemíkových waferů. Tento materiál se používá i při výrobě procesoru stolního počítače. U běžných článků se na desku o velikosti $1 \times 1 \text{ cm}$ umístí 8 samostatných termočlánků. U mikročlánků může být na stejné desce až 400 samostatných termočlánků, což je 50x více. Mikročlánky mají také rychlejší odezvu a výkon. Běžné články dokáží přenést $3-6 \text{ W/cm}^2$ a mikročlánky $60-100 \text{ W/cm}^2$. [11]

2.4.2 Dělení dle Geometrie

Peltierovy články mohou být vyráběny v odlišných rozměrech (viz. Obr. 12), ale také v různých tvarech. Většinou jsou keramické desky čtvercového nebo obdélníkového tvaru. V případě nutnosti může být tvar i kruhový. Pro snadnější montáž se do článku vyvrtá díra.



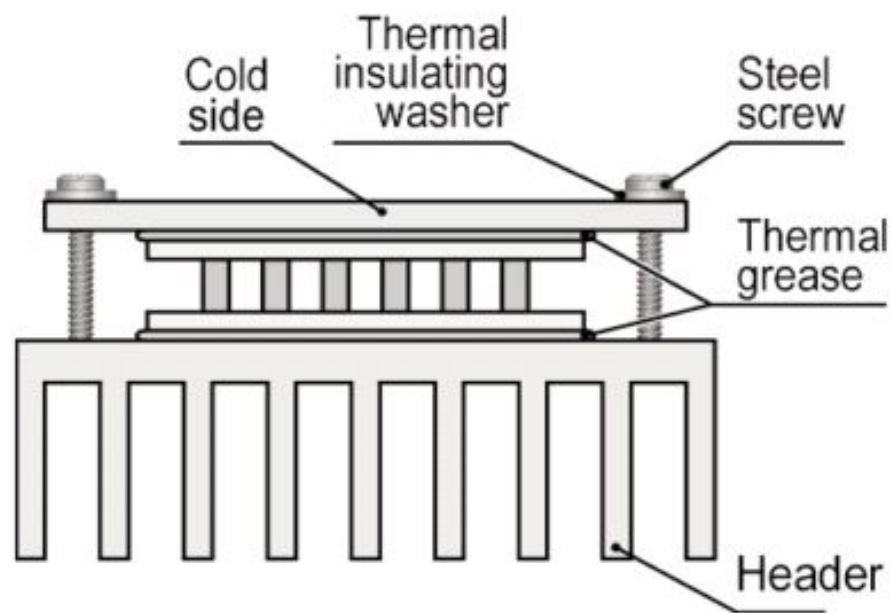
Obr. 12 Různé tvary Peltierových článků [10]

2.5 Způsoby montáže Peltierova článku

V dnešní době se hlavně využívá spojení Peltierova článku s okolím mechanicky, pájením nebo lepením. Špatná instalace je hlavní důvod selhání Peltierova článku. V návrhu montáže musíme počítat s možnými vibracemi nebo nárazy. V neposlední řadě je důležité zajistit kvalitní přenos tepla resp. chlazení mezi styčnými plochami. [11]

2.5.1 Montáž pomocí mechanického spojení

Mechanické spojení se provádí pomocí šroubů. Článek je vložen mezi dva výměníky tepla (viz. Obr. 13). Zvýšení tepelné vodivosti se dosáhne díky teplo-vodivé pastě, která vyplňuje mezery mezi stěnami. Hlavní výhodou této konstrukce je snadné rozebrání a tedy možná údržba. Využití mechanických spojů najdeme hlavně u jednořadých Peltierových článků. U mikromodulů nepřichází šroubové spojení v úvahu kvůli prostoru a výrazným tepelným ztrátám. Rovinatost styčných ploch by neměla přesáhnou hodnotu 0,02mm, tím se snažíme zabránit prasknutí článku. Proto plochy zbavujeme vměstků (jemná částice nekovových látek, jejíž soubor je rozptýlen v oceli), nerovností a cizích částic. K vyrovnání velkých nerovností slouží teplo-vodivé směsi, které jsou většinou na bázi silikonových olejů s dalšími příměsi, což zlepšuje teplotní vodivost. I tady platí, že všeho moc škodí, přílišná vrstva směsi vede ke snížení přenosu tepla a také zhoršení mechanické odolnosti. Nevýhodou mechanického spojení je, že šroubové spoje vytvářejí tepelné mosty. Zabránit tomu lze pomocí těsnících podložek nebo vhodnými šrouby, které mají nízkou tepelnou vodivost (nerezová ocel). V provozu dochází vlivem tepelné roztažnosti k proměnlivé velikosti šroubového spoje, proto využíváme pérové podložky. Tyto podložky zabrání nadměrnému nebo nedostatečnému tlaku na článek, tedy zhoršení tepelného kontaktu. [11]



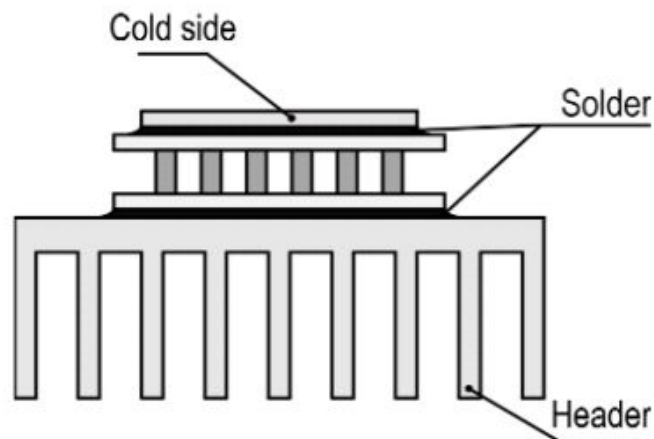
Obr. 13 Spojení Peltierova článku pomocí mechanického spojení [11]

2.5.2 Montáž pomocí pájení

Chladič a chladicí objekt je spojen pomocí měkké pájky (viz. Obr. 14). Při pájení musíme dodržet nižší teplotu pájení spoje, než jaká byla teplota pájky u výroby Peltierova článku. Ke zlepšení vodivosti se plochy pokovují. Nanáší se tenká vrstva cínu nebo zlata. Cín je levnější, ale na rozdíl od zlata dochází po nějaké době k oxidaci kontaktu, tedy zhoršení podmínek k pájení. Tato metoda se využívá pro jednořadé a kaskádové mikromoduly. Nevyužívá se pro velké moduly, kvůli odlišné tepelné roztažnosti, což vede k mechanickému namáhání.[11]

Výhody pájení [11]

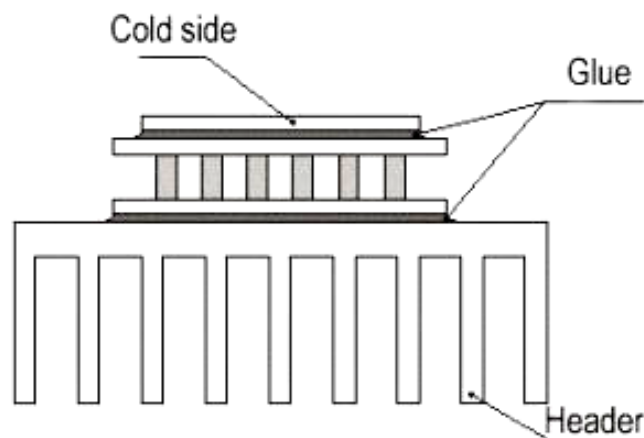
- mechanická odolnost
- tepelný kontakt mezi plochami spojů
- vhodné pro aplikace pracující za podtlaku
- možnost částečně rozebrat



Obr. 14 Spojení peltierova článku pomocí pájení[11]

2.5.3 Montáž pomocí lepení

U toho spojení se využívá lepidla s dobrou tepelnou vodivostí a mechanickou odolností (viz. Obr. 15). Nadměrná drsnost i různorodost ploch vede k větší vrstvě lepidla a tedy ke zhoršení tepelné vodivosti. Nanesená vrstva by neměla přesáhnout velikost 10-20 μm . Mezi výhody lepení patří spolehlivost, jednoduché provedení, žádné vystavování zvýšeným teplotám jako u pájení. Mezi nevýhody patří problémová demontáž, proces lepení je zdlouhavý a hlavně provozní teploty takového článku by neměly překračovat 150-160°C. Využívá se u mikromodulů a modulů velkých rozměrů.[11]

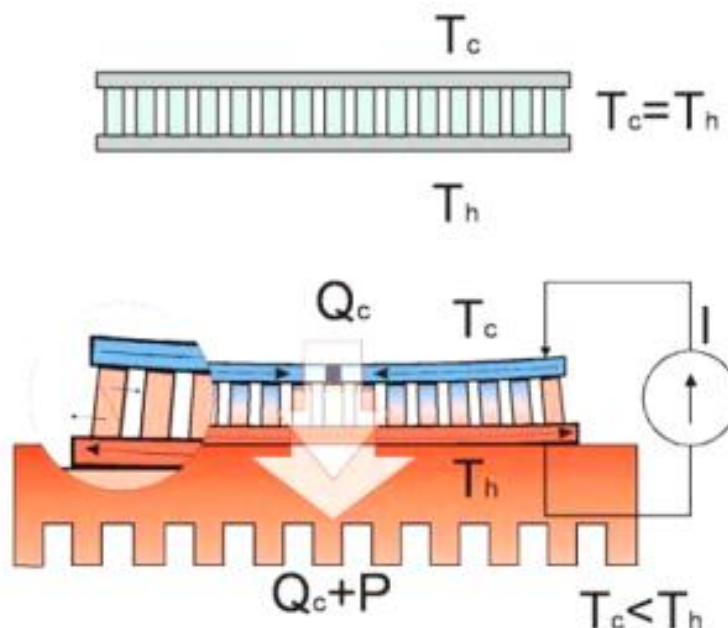


Obr. 15 Spojení peltierova článku pomocí lepení[11]

2.6 Teplotní roztažnost

U všech výše vypsanych druhů spojení (mechanické spoje, lepení, pájení) dochází ke styku různých druhů materiálů. Kvůli rozdílným koeficientům tepelné vodivosti použitých materiálů dochází v provozním režimu díky velkým teplotním rozdílům mezi teplou a studenou stranou k mechanickým tlakům, což může způsobit i narušení článku a tím zhoršení funkce samotného zařízení (viz. Obr. 16). Na teplotní roztažnost nejvíce trpí konstrukce spojení, u kterých není možné ani malého posunu desek, tj. lepení a pájení. U metody mechanického spojení může nastat malý posun, aniž by to ovlivnilo parametry článku. Nejdříve dochází k nepatrným prasklinkám, které zvyšují odpor článku. To vede ke snížení účinnosti. Může nastat i celkové mechanické narušení sloupku.

Napětí se vyskytuje ve vodorovném směru na teplé i studené straně i ve svislém směru a to podél spoje. Špatná volba materiálu při návrhu konstrukce vede ke snížení spolehlivosti. Článek má i přesto dlouho životnost a dostatečnou odolnost vůči teplotním změnám. Nejlepší koeficient teplotní roztažnosti mají kompozitní materiály jako měď/wolfram (Cu/W) či měď/molybden (Cu/Mo). Tyto materiály mají koeficient podobný keramickým deskám Peltierova článku. Pořizovací cena ale zásadně ovlivňuje možnost většího využití. Levnější variantu poskytuje materiál Kovar (slitina Ni-Co-Fe), který se ale využívá pouze u chlazení malých toků tepla. U velké plochy jednoho článku se může v některých případech použít více malých článků. To zmírní zakřivení teplé strany článku.[11]



Obr. 16 Vznik napětí na Peltierovu článku[11]

3 VYUŽITÍ PELTIEROVA JEVU V PRŮMYSLU KOMERČNÍ BEZPEČNOSTI

Chlazení pomocí Peltierova modulu nachází využití v mnoha oblastech. Mezi významné oblasti patří vojenská technika, medicína, průmysl, spotřební zboží, věda a telekomunikace. Tohoto modulu se využívá při konstrukci tepelných stabilizátorů pro lasery, fotodetektory, krystalové oscilátory atd.[10]

3.1 Typické aplikace Termoelektrického modulu v Průmyslu komerční bezpečnosti

Následující podkapitola obsahuje přehled aplikací termoelektrického modulu v PKB, tyto aplikace jsou seřazeny podle abecedy.

- **Avionika** – jedná se o soubor elektrického a elektronického vybavení letadel, umělých družic až po kosmické lodě. Patří sem navigace, komunikace, monitorování, řízení letu, kolizní systémy a další.
- **CCD (Charge-Couple Device)** – elektronická součástka, která se využívá při snímání obrazové informace. Používá se v kamerách, digitálních fotoaparátech, faxech, scannerech, čtečkách čárových kódů nebo v přístrojích na vědecké účely (dalekohledy).
- **Generátory elektrické energie** – takové zařízení může být použito jako nouzový zdroj energie. U termoelektrických modulů je převážně využíváno elektrické energie na chlazení nebo topení, ale tento modul může díky dodanému teplu taktéž generovat malé množství elektrické energie (Seebeckův jev).
- **Chlazení mikroprocesorů** – pro správnou funkci potřebuje mikroprocesor chlazení a to aktivní i pasivní.
- **Chlazení laserových diod** – využívá se převážně termoelektrického chlazení (dále jen TEC), kvůli možnosti přesně nastavit provozní teplotu, což vede ke zlepšení parametrů samotné diody (vlnová délka, integrita).
- **Infračervené detektory** – detektory reagující na IR záření. Máme dva základní typy a to tepelné detektory a fotodetektory, které využívají termoelektrického jevu.
- **Kalorimetry** – zařízení pro měření rozdílu tepla, chemických reakcí a fyzikálních změn. Slovo je odvozeno z latinského slova *calor*, což znamená teplo.
- **Zařízení pro noční vidění** – využívá se pro noční jízdy nebo létání, noční zabezpečení a sledování, pozorování lidí či volně žijících živočichů, sledování, pátrání a záchranu.

3.2 Výhody a nevýhody Peltierova článku

V následujících bodech jsou shrnuty největší výhody a nevýhody chlazení pomocí peltierových termobaterií.

Výhody

- Peltierovy články mají velmi dobrou **životnost**, protože u těchto zařízení není při výrobě použito žádných chemických látek. Navíc toto zařízení nemá žádné pohyblivé části, což také přispívá k životnosti samotného článku. Udávaná životnost u komerčně přístupných článků se pohybuje od 10 let výše. Negativně se na životnosti podílejí zejména okolní vlivy, mezi které patří vlhkost v okolí článku nebo vibrace samotného článku. Mezi další vlastnosti, jenž ovlivňují správný chod článku a tedy i jeho životnost, patří špatný odvod tepla. Změna teploty se u takových zařízení předpokládá, teplotní dynamika by ale neměla přesáhnout 1°C/s jak udávají někteří výrobci (např. tellurex). [5]
- Díky absenci pohyblivých částí je dosaženo další výhody, a to absolutně **tichého provozu**, díky čemuž je můžeme využít v kombinaci s akusticky citlivými senzory.
- Při správné instalaci je provoz prakticky **bezúdržbový**.
- Celkové zařízení je několikrát **lehčí i menší**, než mechanické chladicí zařízení se srovnatelnými parametry.
- **Vytápět i chladit jedním modulem** je velká výhoda, která je dosažena polaritou proudu přivedeného do obvodu.
- **Přesná regulace**, která může dosahovat při potřebách i $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, je podmíněna dobrým návrhem regulátoru a správnou instalací celého termoelektrického systému.
- Vysoká **spolehlivost** je dosažena díky pevné konstrukci celého chladicího systému.
- Baterie mají plochý tvar, díky tomu je chlazení rovnoměrné.
- Můžeme chladit velmi malou plochu s minimální dobou odezvy.
- Dosažení nízkých teplot až -20°C .
- Provoz v jakékoli poloze.

Nevýhody

- Přehřívání
- Velká spotřeba proudu
- Při chlazení velkých výkonu se cena modulu stává neekonomickou
- Nižší účinnost v porovnání s kompresorovým chlazením [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PRŮZKUM TRHU S PELTIEROVÝMI ČLÁNKY

Vývoj, výzkum a výrobu Peltierových článků nalezneme v mnoha zemích světa. Leadeři tohoto odvětví se nacházejí především ve Spojených státech amerických, Rusku a Německu. Přehled prodejců na českém trhu (získáno vyhledáváním na internetu) je pak uveden v následující kapitole (viz. kapitola 4.1).

4.1 Prodejci na webu

V uvedených bodech jsou vypsáni významní internetoví prodejci na českém trhu. Pořadí jednotlivých firem je určeno podle možnosti výběru, dostupnosti informací a přehlednosti stránek.

- **CONRAD, spol. s r. o**

Jedná se o původně rodinnou firmu, která byla založena v Berlíně roku 1923. V ČR mají pobočku od roku 2009. Na níže uvedených www stránkách nabízejí více než 65 000 výrobků, které pokrývají skoro vše, co má něco společného s elektronikou a technikou. [13]

<http://www.conrad.cz/>

- **GES Electronics, a.s.**

Firma GES-ELECTRONICS byla založena a zahájila svoji činnost roku 1991 jako obchodní společnost v oboru elektronických součástek. Zabývá se dovozem a prodejem komponentů, ale rovněž v oblasti prodeje a montáží radiokomunikační, telekomunikační a speciální techniky a výstavby infrastruktur s tím spojených. V roce 2002 byla firma GES-ELECTRONICS, s.r.o. transformována na akciovou společnost GES-ELECTRONICS, a.s. [14]

<http://www.ges.cz>

- **GM Electronics, spol. s r. o.**

V roce 1990 byla založena firma GM electronic spol. s r.o. a otevřena byla první maloobchodní prodejna v Praze 8. Zabývá se distribucí elektronických součástek, komponentů pro elektroniku, spotřební elektroniky, chemických přípravků, měřicí techniky a kvalitního nářadí. [15]

<http://www.gme.cz>

- **Radio plus, spol. s r.o.**

Sídlo firmy je na adrese Biskupský dvůr 2095/8, 110 00 Praha 1.[16]

<http://www.svetsoucastek.cz/>

- **DISTRELEC, spol. s r. o.**

Firma Distrelec má sídlo ve Švýcarsku, ale pobočky má po celé Evropě. Má více jak 35 letou zkušenost ve svém oboru. Specializuje se na elektroniku, automatizaci a informační technologie.

<https://www.distrelec.cz>

- **PS Electronics spol. s r.o.**

Firma PS elektronik byla založena v polovině roku 1992 jako sdružení podnikatelů, fyzických osob. O devět let tedy v roce 2001 byla převedena na společnost s ručením omezeným. Od roku 2010 mají sídlo v Praze 8.[17]

<http://www.pselectronic.cz>

- **JPS Electronic Systems, s.r.o.**

Firma JPS Electronics Systems byla založena v roce 2008. Zabývá se prodejem spotřební domácí elektroniky. Sídlo firmy je v Mladé Boleslavi. [18]

<http://levnejsi-zbozi.cz>

- **DNA elektro spol. s r.o.**

Firma DNA elektro je z uvedených firem nejmladší. Založena byla v roce 2007 a jako společnost s ručením omezeným byla zapsána teprve v roce 2011. Sídlo firmy je na Praze 5.

<http://www.dnaelektro.cz>

- **PUHY**

Sídlo firmy je v Chocni.

<http://www.puhy.cz>

4.2 Typy Peltierových článků

V této podkapitole jsou uvedeny vybrané Peltierovy články od výrobců uvedených v předchozí podkapitole (viz. 4.1). Články jsou seřazeny dle konstrukce a parametrů do tří podkapitol. Jedním s porovnávaných parametrů byla i účinnost článků. Tu bohužel nebylo možno zjistit od výrobců ani prodejců, byla proto počítána na základě vztahů 5.2.1, 5.2.2 a 5.2.3 uvedených v následující kapitolách (5.2 a 5.3) Vybrány byly články, které se v nějakém parametru vymykají standardu (tj. jsou „lepší“).

4.2.1 Standartní Peltierovy články

V této první podkapitole jsou uvedeny některé standardní Peltierovy články. Tyto články mají ve srovnání s vícestupňovými a High Tech články menší cenu, velmi dobrou účinnost srovnatelnou s High Tech články. Na druhou stranu nejsou schopny dosáhnout takového rozdílu teplot jako vícestupňové články a High Tech články. Pořizovací cena standartních článků se pohybuje od 100-3000 Kč. Průměrná účinnost je kolem 60%. Výkon je v rozmezí od jednotek W až po stovky W.



Obr. 17 Ukázka standartního článku[13]

- **Článek M-TEC1-12710**

Tento článek má velmi dobrý poměr výkonu k ceně (2,04 Kč/W), navíc pořizovací cena (181Kč) je velmi nízká. Účinnost tohoto článku je v této kategorii spíše podprůměrná (56%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 2) nebo na webové stránce firmy GME. [15]

Tab. 2 Parametry článku M-TEC1-12710

rozměry	40x40x3.3
max. proud	10A
max. napětí	15.8V
max. tepelný výkon	89W
max. teplotní rozdíl	neuvádí
cena	181 Kč

- **Článek TEC1-12730**

Tento článek má kvalitní výkon (282 W) a přijatelnou pořizovací cenu článku (569 Kč). Poměr výkonu k ceně je 2 Kč/W. Účinnost tohoto článku je v této kategorii výrazně podprůměrná (pouze 51%). Maximální provozní teplota je 138°C. Životnost se předpokládá na 200.000 hodin. Výrobce udává míru selhání 0,2 %. Článek je sestaven z keramického materiálu zvaného Alumina (Al_2O_3). Více informací v tabulce (viz. Tab. 3) na webové stránce firmy GES. [14]

Tab. 3 Parametry článku TEC1-12730

teplota teplé strany	25 °C	50°C
max. proud	30,5 A	30,5 A
max. napětí	15,6 V	17,8 V
max. tepelný výkon	257 W	282W
max. teplotní rozdíl	68 °C	79°C
rozměry	62x62x4.8 mm	
cena	569 Kč	

- **Článek M-TEC1-12710 225°C**

Tento článek má slušný výkon (89 W) za přijatelnou pořizovací cenu článku (214 Kč). Poměr výkonu k ceně je zde 2,40 Kč/W. Účinnost tohoto článku je v této kategorii opět podprůměrná (56%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 4) nebo na webové stránce firmy GME. [15]

Tab. 4 Parametry článku M-TEC1-12710 225°C

rozměry	40x40x3.3
max. proud	10A
max. napětí	15.8V
max. tepelný výkon	89W
max. teplotní rozdíl	neuvádí
cena	214 Kč

- **Článek 12705**

Tento článek má stejný poměr (2,40 Kč/W) jako předchozí článek (M-TEC1-12710 225°C). V účinnosti na rozdíl od něho patří k nadprůměru (66%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 5) nebo na webové stránce firmy JPS. [18]

Tab. 5 Parametry článku 12705

rozměry	40X40X4 mm
max. proud	6 A
max. napětí	15.2V
max. tepelný výkon	60 W
max. teplotní rozdíl	< 60°C (-30 až 70°C)
cena	144 Kč

- **Článek 12709**

Článek 12709 vyniká nadprůměrnou účinností (66%). Poměr výkonu vůči ceně má stejný jako předchozí článek (12705). Více informací v tabulce (viz. Tab. 6) nebo na webové stránce firmy JPS. [18]

Tab. 6 Parametry článku 12709

rozměry	40X40X4 mm
max. proud	9 A
max. napětí	15.2V
max. tepelný výkon	80 W
max. teplotní rozdíl	< 60°C (-30 až 70°C)
cena	189 Kč

- **Článek TEC1-12708**

Zde nalezneme velmi dobrý poměr výkonu k pořizovací ceně článku (2,10 Kč/W). Na druhou stranu ale výrazně zaostává v účinnosti (51%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 7) nebo na webových stránkách firmy GES. [14]

Tab. 7 Parametry článku TEC1-12708

teplota teplé strany	25 °C	50°C
max. proud	8,5 A	8,4 A
max. napětí	15,4 V	17,5 V
max. tepelný výkon	71 W	79 W
max. teplotní rozdíl	66 °C	75°C
rozměry	40x40x3.5mm	
cena	149 Kč	

- **Článek M-TEC1-24120**

Článek M-TEC1-24120 má nejlepší poměr výkonu vůči pořizovací ceně článku (1,53 Kč/W) ze všech porovnávaných článků. Účinnost má průměrnou mezi standardními články (61%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 8) nebo na webových stránkách firmy GME [15].

Tab. 8 Parametry článku M-TEC1-24120

rozměry	50x50x3,7mm
max. proud	20 A
max. napětí	29,4 V
max. tepelný výkon	360 W
max. teplotní rozdíl	68 °C
cena	551 Kč

- **Článek 12714 S**

Oproti předchozímu článku (M-TEC1-24120) má tento naopak nejhorší poměr výkonu vůči pořizovací ceně článku (22 Kč/W). Vyniká zato téměř nejlepší účinností v této kategorii (68%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 9) nebo na webových stránkách firmy Conrad. [13]

Tab. 9 Parametry článku 12714 S

rozměry	62x62x4,9mm
max. proud	14 A
max. napětí	14,8 V
max. tepelný výkon	140 W
max. teplotní rozdíl	60 °C
cena	3 090,- Kč

- **Článek M-TEC1-01708**

Stejně jako předchozí článek 12714 S i tento patří spíše do podprůměru v poměru výkonu vůči pořizovací ceně (11,5 Kč/W). Navíc má výrazně podprůměrnou účinnost v této kategorii (53%). Vyniká zato svými malými rozměry. Více informací v tabulce (viz. Tab. 10) nebo na webové stránce firmy GME. [15]

Tab. 10 Parametry článku M-TEC1-01708

rozměry	15x15x3,3mm
max. proud	8,5 A
max. napětí	2,06 V
max. tepelný výkon	9,2 W
max. teplotní rozdíl	68 °C
cena	105 Kč

- **Článek PELTIER- 5105-298**

Přestože u tohoto článku nalezneme velmi malé rozměry, ve většině ostatních parametrů patří spíše do podprůměru. Účinnost má 56%. Více informací v tabulce (viz. Tab. 11) nebo na webové stránce firmy PSE. [17]

Tab. 11 Parametry článku 5105-298

rozměry	15x15x3.7mm
max. proud	8.5A
max. napětí	2V
max. tepelný výkon	9.5W
max. teplotní rozdíl	68°C
cena	200,- Kč

- **Článek PELTIER-5105-302**

Tento článek má poměr výkonu vůči pořizovací ceně kolem 4,6 Kč/W, což v porovnání s nejlepšími články mírně zaostává. Navíc má podprůměrnou účinnost v této kategorii (54%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 12) nebo na webové stránce firmy PSE. [17]

Tab. 12 Parametry článku 5105-302

rozměry	62x62x4.8mm
max. proud	30.7A
max. napětí	16.2V
max. tepelný výkon	267W
max. teplotní rozdíl	68 °C
cena	1.231,- Kč

- **Článek 12706**

Článek 12706 vyniká druhou nejlepší účinností (68%) v této kategorii. V poměru výkonu vůči pořizovací ceně patří do průměru (14 Kč/W). Více informací v tabulce (viz. Tab. 13) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 13 Parametry článku 12706

rozměry	40 x 40 x 3.8 mm
max. proud	6.4 A
max. napětí	15 V
max. tepelný výkon	65 W
max. teplotní rozdíl	60°C
cena	918,- Kč

- **Článek 7105**

Tento článek vyniká nejlepší účinností (69%) mezi standartními články. Více informací v tabulce (viz. Tab. 14) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 14 Parametry článku 7105

rozměry	30 x 30 x 4,1 mm
max. proud	4,6 A
max. napětí	8,5 V
max. tepelný výkon	27 W
max. teplotní rozdíl	60 °C
cena	498,- Kč

- **Článek 1703**

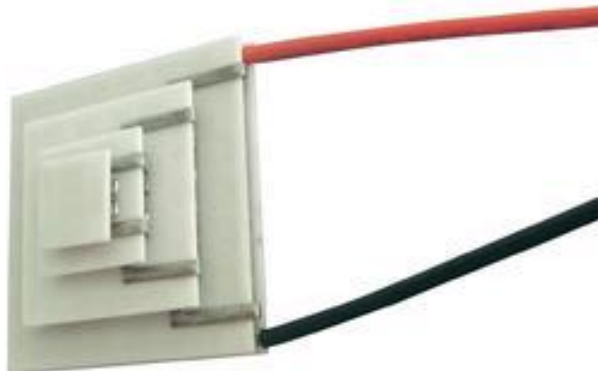
Stejně jako předchozí článek (12706) vyniká tento článek v účinnosti (68%). Navíc patří mezi nejmenší články na trhu. V ostatních parametrech patří do podprůměru. Více informací v tabulce (viz. Tab. 15) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 15 Parametry článku 1703

rozměry	15 x 15 x 4,9 mm
max. proud	3 A
max. napětí	1,9 V
max. tepelný výkon	3,9 W
max. teplotní rozdíl	60 °C
cena	268,- Kč

4.2.2 Vícestupňové Peltierovy články

Vícestupňové články mají oproti standartním článkům výhodu většího rozdílu teplot mezi teplou a studenou stranou. Konstrukce toho článku je již popsána v teoretické části této práce (viz. kapitola 2.2.3). Pořizovací cena těchto typů článků se pohybuje mezi 1500-3300 Kč. Průměrná účinnost je okolo 23%. Výkon je v rozmezí 5-30 W. Porovnání jednotlivých parametrů provedené v této kapitole je vždy prováděno pouze mezi stejnými typy článků, tj. pouze mezi vícestupňovými články.



Obr. 18 Ukázka víceúrovňového článku[13]

- **Článek TES2-127-127-30**

Výhodou tohoto článku jsou nejmenší rozměry ze všech zde srovnávaných víceúrovňových článků. Navíc má v kategorii víceúrovňových článků nadprůměrnou účinnost (29%). Ale zato ztrácí na ostatní víceúrovňové články v maximálním teplotním rozdílu mezi teplou a studenou stranou, kde hodnota 88°C patří spíše mezi podprůměrné. Více informací v tabulce (viz. Tab. 16) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 16 Parametry článku TES2-127-127-30

rozměry (AxB/CxD/H)	30 x 30/30 x 30/6,5 mm
max. proud	3.6 A
max. napětí	14,6 V
max. tepelný výkon	15.3 W
max. teplotní rozdíl	88 °K
cena	2 280,- Kč

- **Článek TEC2-127-63-04**

Tento článek vyniká nejnižší cenou a nejlepší účinností (42%) mezi víceúrovňovými články. Naopak ztrácí na ostatní články v maximálním teplotním rozdílu mezi teplou a

studenou stranou, kde hodnota 88°C patří mezi podprůměrné. Více informací v tabulce (viz. Tab. 17) nebo webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 17 Parametry článku TEC2-127-63-04

rozměry (AxB/CxD/H)	40 x 40/40 x 40/8,1 mm
max. proud	4.2 A
max. napětí	14,6 V
max. tepelný výkon	26 W
max. teplotní rozdíl	88 °K
cena	1 690,- Kč

- **Článek TEC4-97-49-17-7-05**

Výhodou tohoto článku je maximální teplotní rozdíl mezi teplou a studenou stranou (112°C), který patří mezi nejlepší v této kategorii. Ale zato ztrácí na ostatní články v účinnosti (8%), kde je nejhorší mezi porovnávanými vícestupňovými články. Více informací v tabulce (viz. Tab. 18) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 18 Parametry článku TEC4-97-49-17-7-05

rozměry (AxB/CxD/H)	35x35/10x10/10,7mm
max. proud	4,4 A
max. napětí	11,2 V
max. tepelný výkon	4 W
max. teplotní rozdíl	112 °C
cena	3290 Kč

- **Článek TEC3-127-71-31-06**

Stejně jako předchozí článek (TEC4-97-49-17-7-05) má i tento kvalitní teplotní rozdíl (97°C) mezi stranami článku. Navíc má mírně nadprůměrnou účinnost (25%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 19) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 19 Parametry článku TEC3-127-71-31-06

rozměry (AxB/CxD/H)	40x40/20x20/9,1mm
max. proud	5 A
max. napětí	14,6 V
max. tepelný výkon	18,1W
max. teplotní rozdíl	97 °C
cena	2390 Kč

4.2.3 Peltierovy články HighTech

Zásadní rozdíl oproti standartním článkům je rozměrová optimalizace, tzn. články HighTech jsou menší a přitom mají stejný nebo dokonce lepší výkon vzhledem k podobným parametrům standartních typů článků. Další rozdíl je v ceně článku, která je vyšší oproti standartním typům. U hodnoty T_{MAX} se tyto typy článků dostanou v průměru na hodnotu 69°C.



Obr. 19 Ukázka High Tech článků[13]

- **Článek QC- 127-1.4-8.5MD**

Tento článek má poměr výkonu vůči pořizovací ceně kolem 14,20 Kč/W což je lepší průměr v této kategorii. Účinnost má mírně podprůměrnou (53%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 20) nebo webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 20 Parametry článku QC- 127-1.4-8.5MD

rozměry	40 x 40 x 3,4 mm
max. proud	8.5 A
max. napětí	15,5 V
max. tepelný výkon	72 W
max. teplotní rozdíl	71 °C
cena	1019 Kč

Článek QC- 17-1.4-8.5MS

Článek QC- 17-1.4-8.5MS vyniká svými malými rozměry. Navíc má lehce nadprůměrnou hodnotu T_{MAX} (71°C). Zaostává ale v účinnosti, kde dosahuje hodnoty pouze 53%. A ještě výrazněji v poměru výkonu vůči pořizovací ceně (73,8 Kč/W). Více informací v tabulce (viz. Tab. 21) nebo na webových stránkách firmy Conrad. [13]

Tab. 21 Parametry článku QC- 17-1.4-8.5MS

rozměry	15 x 15 x 3,4 mm
max. proud	8.5 A
max. napětí	2,1 V
max. tepelný výkon	9.5 W
max. teplotní rozdíl	71 °C
cena	738 Kč

- **Článek QC-127**

Tento článek patří mezi menší v této kategorii. Má lehce nadprůměrnou hodnotu T_{MAX} (71°C). Účinnost je naopak mírně podprůměrná (57%). V poměru výkonu vůči pořizovací ceně je výrazně podprůměrný (52,8Kč/W). Více informací v tabulce (viz. Tab. 22) nebo na webových stránkách firmy Conrad. [13]

Tab. 22 Parametry článku QC-127

rozměry	30x30x3,6 mm
max. proud	3,9 A
max. napětí	15,5V
max. tepelný výkon	34,5 W
max. teplotní rozdíl	71 °C
cena	819Kč

- **Článek TEC1-07103HTS**

Stejně jako předchozí článek i tento patří mezi rozměrově menší. Má lehce podprůměrnou hodnotu T_{MAX} (67°C). Účinnost je naopak mírně nadprůměrná (64%). V poměru výkonu vůči pořizovací ceně je nadprůměrný (8,40Kč/W). Více informací v tabulce (viz. Tab. 23) nebo na webové stránce firmy Radio plus. [16]

Tab. 23 Parametry článku TEC1-07103HTS

rozměry	30x30x4,7 mm
max. proud	3,3 A
max. napětí	8,5 V
max. tepelný výkon	18 W
max. teplotní rozdíl	67 °C
cena	210 Kč

- **Článek TEC1-12730HTS**

Jako nejlepší článek mezi články High Tech vychází tento článek. Vyniká nejlepším poměrem výkonu vůči pořizovací ceně článku (3,3 Kč/W) a výrazně se vymyká v účinnosti (76%). Jediný parametr, kde mírně zaostává je T_{MAX} (65°C). Více informací v tabulce (viz. Tab. 24) nebo na webové stránce firmy Radio plus. [16]

Tab. 24 Parametry článku TEC1-12730HTS

rozměry	62x62x4,8 mm
max. proud	30,7 A
max. napětí	15,4 V
max. tepelný výkon	360 W
max. teplotní rozdíl	65 °C
cena	1180 Kč

- **Článek TEC1-12715HT**

Tento článek má v kategorii High Tech nadprůměrný poměr výkonu vůči pořizovací ceně článku (5,3 Kč/W). Účinnost je průměrná (62%). Stejně jako T_{MAX} . Více informací v tabulce (viz. Tab. 25) nebo na webové stránce firmy Radio plus. [16]

Tab. 25 Parametry článku TEC1-12715HT

rozměry	50x50x4,3mm
max. proud	15,6 A
max. napětí	15,4 V
max. tepelný výkon	150 W
max. teplotní rozdíl	68 °C
cena	789 Kč

- **Článek TEC1-12707HTS**

Zde nalezneme velmi nízkou pořizovací cenu, dále vysoce nadprůměrný poměr výkonu vůči pořizovací ceně (3,5 Kč/W) a hodnota účinnosti 66% patří také mezi lepší v této kategorii. Stejně tak T_{MAX} . Více informací v tabulce (viz. Tab. 26) nebo na webové stránce firmy Radio plus. [16]

Tab. 26 Parametry článku TEC1-12707HTS

rozměry	40x40x3,7mm
max. proud	7,4 A
max. napětí	15,4 V
max. tepelný výkon	75,5W
max. teplotní rozdíl	68°C
cena	262 Kč

- **Článek QC-127-2.0-15.0M**

Jedná se o článek, který má jednu stranu (50x50 mm) menší než druhou (50x54 mm), šířka je klasicky poslední údaj (3,6 mm). Jinak má tento článek průměrný poměr výkonu vůči pořizovací ceně (12,6 Kč/W). Výrazně zaostává v účinnosti, kde už se přibližuje hodnotám víceúrovňových článků (47%). Více informací v tabulce (viz. Tab. 27) nebo na webové stránce firmy Conrad. [13]

Tab. 27 Parametry článku QC-127-2.0-15.0M

rozměry	50x50x54x3,6mm
max. proud	15 A
max. napětí	15,5V
max. tepelný výkon	110 W
max. teplotní rozdíl	71 °C
cena	1390 Kč

V následující tabulce (viz. Tab. 29) je kvůli lepší přehlednosti provedeno srovnání výše uvedených článků. Cena je zde uvedena v Kč, výkon ve wattch (W) a účinnost je bezrozměrná, nebo se udává v %. Rozměry článků jsou udány v milimetrech (mm). T_{max} nám udává maximální teplotní rozdíl mezi teplou a studenou stranou. Jednotliví prodejci jsou barevně odlišeni v názvu článku (viz. Tab. 28).

Tab. 28 Barevné odlišení jednotlivých prodejců

conrad	GES	GME	PSE	JPS	Radio +
--------	-----	-----	-----	-----	---------

Tab. 29 Shrnutí typy standartních článku

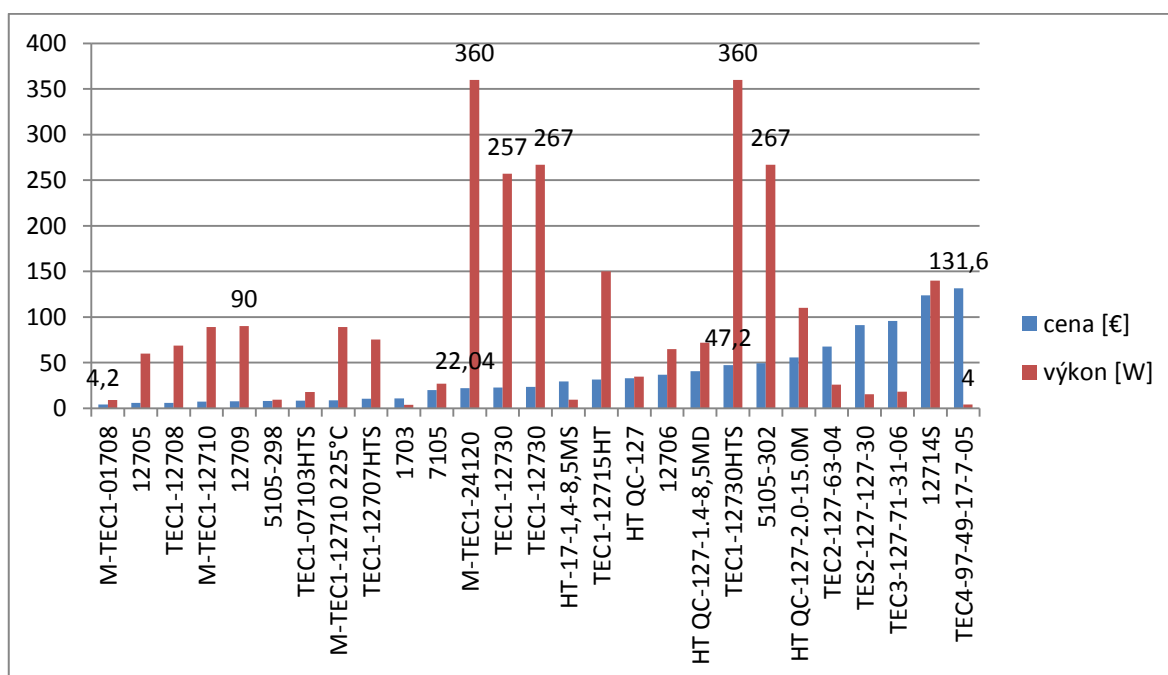
Název článku	cena [Kč]	výkon [W]	účinnost [%]	rozměry [mm]	Tmax [°C]
M-TEC1-01708	105	9,2	53	15x15x3,3	68
12705	144	60	66	40x40x4	60
TEC1-12708	149	68,8	53	40x40x3,8	66
M-TEC1-12710	181	89	56	40x40x3,3	
12709	189	90	66	40x40x4	60
5105-298	200	9,5	56	15x15x3,7	68
TEC1-07103HTS	210	18	64	30x30x4,7	67
M-TEC1-12710 225°C	214	89	56	40x40x3,3	
TEC1-12707HTS	262	75,5	66	40x40x3,7	68
1703	268	3,9	68	15x15x4,9	60
7105	498	27	69	30x30x4,1	60
M-TEC1-24120	551	360	61	50x50x3,7	68
TEC1-12730	569	257	54	62x62x4,8	68
TEC1-12730	590	267	55	62x62x4,8	
HT-17-1,4-8,5MS	738	9,5	53	15 x 15 x 3,4	71
TEC1-12715HT	789	150	62	50x50x4,3	68
HT QC-127	819	34,5	57	30x30x3,6	71
12706	918	65	68	40x40x3,8	60
HT QC-127-1.4-8,5MD	1019	72	57	40 x 40 x 3,4	71
TEC1-12730HTS	1180	360	76	62x62x4,8	65
5105-302	1231	267	54	62x62x4,8	68
HT QC-127-2.0-15.0M	1390	110	47	50X50X54X3,6	71
TEC2-127-63-04	1690	26	42	40x40/40x40/8,1	88
TES2-127-127-30	2280	15,3	29	30x30/30x30/6,5	88
TEC3-127-71-31-06	2390	18,1	25	40x40/20x20/9,1	97
12714S	3090	140	68	62X62X4,9	60
TEC4-97-49-17-7-05	3290	4	8	35x35/10x10/10,7	112

5 SROVNANÍ PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ

V této kapitole jsou porovnány dostupné Peltierovy články na českém trhu. Porovnávat budeme podle ceny a výkonu. U výkonu je dopočítaná účinnost chladicího zařízení.

5.1 Cena

Cena u Peltierových článků začíná na trhu již od 100 Kč. V tomto případě se jedná o malý Peltierův článek, jenž má výkon v řádech jednotek wattů. V případě využití kvalitnějších materiálů vzroste výkon asi 100x a cena se může dostat až k částce 3000 Kč. Ne vždy ale platí, že dražší výrobek musí mít větší výkon. Jedny z nejdražších Peltierových článků na trhu jsou vícestupňové články. Jejich výkon, ale výrazně zaostává oproti cenově srovnatelným „standartním“ článkům. Výhoda těchto článků je v největším rozdílu mezi teplou a studenou stranou. V následujícím grafu (viz. Obr. 20) je provedeno srovnání výkonu a ceny. Jednotlivé články jsou seřazeny podle ceny zleva doprava, tj. od nejlevnějšího článku po nejdražší. V grafu je kvůli lepší přehlednosti a srovnatelnosti přepočítána cena článku z Kč na € - některé ceny byly totiž uvedeny v Kč, jiné v EUR, Přepočet byl proveden v kurzu 25 Kč za 1€.



Obr. 20 Srovnání článků podle výkonu a ceny

Jak již bylo řečeno, předchozí graf (viz. Obr. 20) potvrzuje tvrzení, že rostoucí cena nutně neznamená současně rostoucí výkon. Jak je vidět, nejdražší článek má výkon pouze 4 W. Z toho grafu nejlépe vyznívá článek M-TEC1-24120, který má výkon 360W a stojí 22,4 €. U pořizování Peltierových článků musíme myslet na to, jak velké teplo potřebujeme odvést, protože zbytečně výkonově velký článek nám navýšit provozní náklady i pořizovací cenu.

5.2 Výkon

Výkon (P) u elektrických zařízení (v našem případě u Peltierových článků) je fyzikální veličina, která vyjadřuje vykonanou práci (W) za jednotku času(t) základní definice výkonu je znázorněna pomocí rovnice (viz. rovnice 5.2.)

$$P = \frac{W}{t} [W] \quad 5.2.$$

Peltierovy články pracují pouze se stejnosměrným proudem, jak jsme již v teoretické části zmínili (viz. kapitola 2.) Výkon u stejnosměrného napětí vypočítáme pomocí následující rovnice (viz. rovnice 5.2.1) Kde U [V] je napětí a $R[\Omega]$ je odpor zařízení.

$$P = \frac{U^2}{R} [W] \quad 5.2.1$$

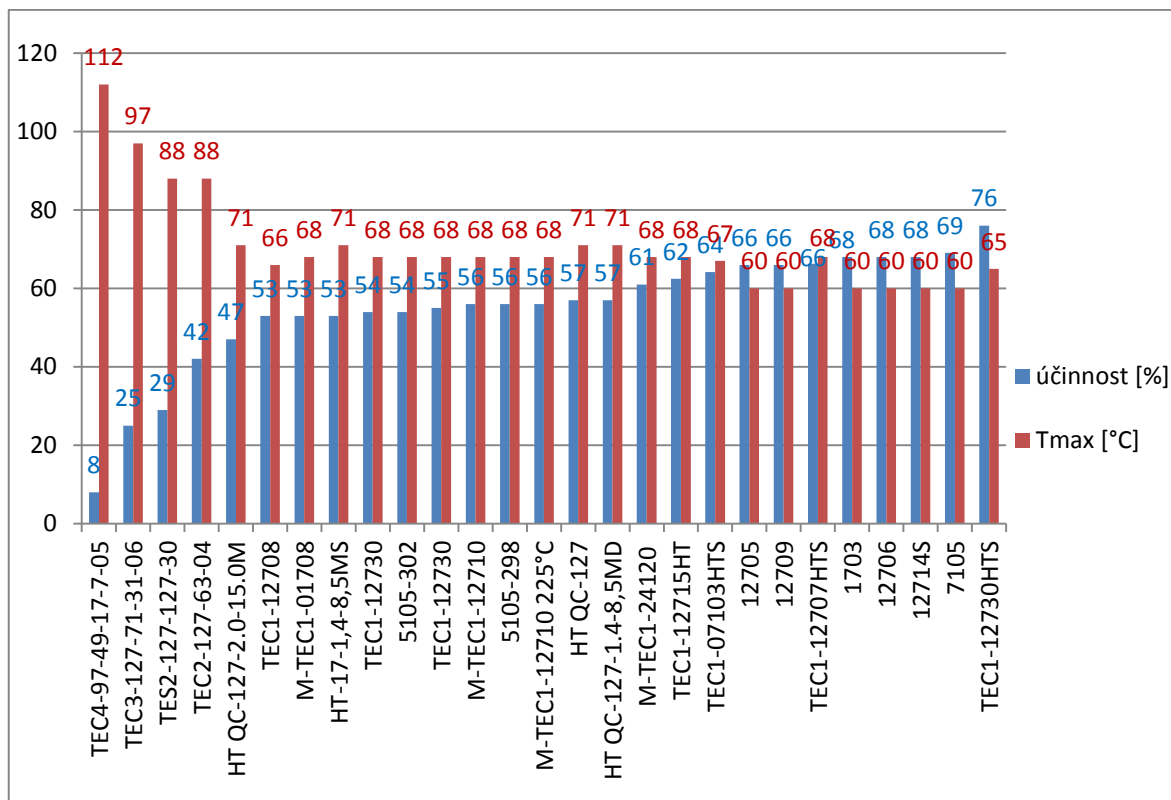
5.3 Účinnost

Vývoj účinnosti byl popsán v teoretické části (viz. podkapitola 2.1). Elektrická účinnost je podíl výkonu (P) vůči příkonu (P^I) (viz. rovnice 5.2.2). Výsledek je vždy číslo menší než 1 (jinak by se jednalo o perpetuum mobile), proto se většinou uvádí v procentech.

$$\eta = \frac{P}{P^I} [\%] \quad 5.2.2$$

Využitá energie je v tomto případě příkon (W), který vypočítáme jako součin napětí a proudu (viz. rovnice 5.2.3).

$$P^I = U * I [W] \quad 5.2.3$$



Obr. 21 Srovnání účinnosti a maximálního rozdílu teplot

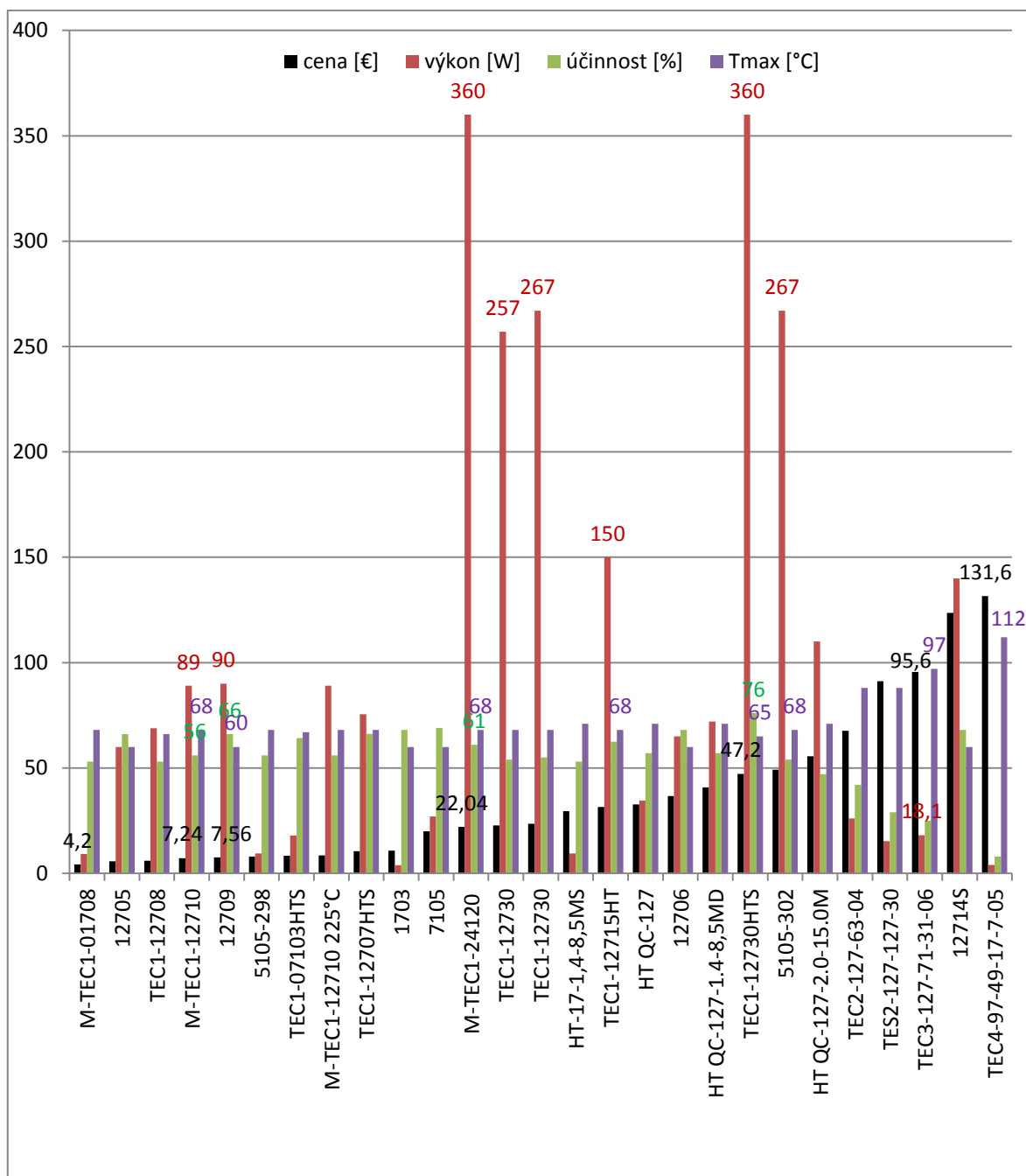
V tomto grafu (viz. Obr. 21) vidíme srovnání účinnosti (modré sloupce) a maximálního rozdílu teplot (dále jen Tmax, červené sloupce). Jednotlivé články jsou seřazeny podle účinnosti zleva doprava, tj. od nejhoršího článku po nejlepší. Z tohoto obrázku nám na první pohled vyplyne, že s rostoucí účinností klesá T_{\max} . Nejvyšší účinnost má článek TEC1-12730HTS (76%), u tohoto článku je Tmax na hodnotě 65 °C. Naopak největší Tmax (112°C) je u článku TEC4-97-49-17-7-05, kde účinnost je pouze na 8%. První čtyři články zleva jsou vícestupňové. Pak už jsou pouze jednostupňové (běžné články).

5.4 Celkové srovnání - souhrn

V následující tabulce (viz. Tab. 30) jsou vybrány články, které se v některém parametru (cena, výkon, účinnost, rozměry nebo Tmax) vymykají standardu, tj. převyšují běžný průměr (tyto nadstandardní parametry jsou zvýrazněny žlutým pozadím). Jejich data jsou vynesena v grafu (viz. Obr. 22), kde kvůli větší přehlednosti je cena článků převedena na eura (€). Jednotliví prodejci jsou barevně odlišeni v názvu článku (viz. Tab. 28).

Tab. 30 Srovnání článků podle ceny

Název článku	cena [€]	výkon [W]	účinnost [%]	rozměry [mm]	Tmax [°C]
M-TEC1-01708	4,2	9,2	53	15x15x3,3	68
12705	5,76	60	66	40x40x4	60
TEC1-12708	5,96	68,8	53	40x40x3,8	66
M-TEC1-12710	7,24	89	56	40x40x3,3	68
12709	7,56	90	66	40x40x4	60
5105-298	8	9,5	56	15x15x3,7	68
TEC1-07103HTS	8,4	18	64	30x30x4,7	67
M-TEC1-12710 225°C	8,56	89	56	40x40x3,3	68
TEC1-12707HTS	10,48	75,5	66	40x40x3,7	68
1703	10,72	3,9	68	15x15x4,9	60
7105	19,92	27	69	30x30x4,1	60
M-TEC1-24120	22,04	360	61	50x50x3,7	68
TEC1-12730	22,76	257	54	62x62x4,8	68
TEC1-12730	23,6	267	55	62x62x4,8	68
HT-17-1,4-8,5MS	29,52	9,5	53	15 x 15 x 3,4	71
TEC1-12715HT	31,56	150	62	50x50x4,3	68
HT QC-127	32,76	34,5	57	30x30x3,6	71
12706	36,72	65	68	40x40x3,8	60
HT QC-127-1.4-8,5MD	40,76	72	57	40 x 40 x 3,4	71
TEC1-12730HTS	47,2	360	76	62x62x4,8	65
5105-302	49,24	267	54	62x62x4,8	68
HT QC-127-2.0-15.0M	55,6	110	47	50X50X54X3,6	71
TEC2-127-63-04	67,6	26	42	40x40/40x40/8,1	88
TES2-127-127-30	91,2	15,3	29	30x30/30x30/6,5	88
TEC3-127-71-31-06	95,6	18,1	25	40x40/20x20/9,1	97
12714S	123,6	140	68	62X62X4,9	60
TEC4-97-49-17-7-05	131,6	4	8	35x35/10x10/10,7	112



Obr. 22 Srovnání článků dle důležitých parametrů

Předchozí obrázek (viz. Obr. 22) nám srovnává články, které jsou vypsány z tabulky 28. nejlevnější články jsou na levé straně a na pravé naopak ty nejdražší. První článek zleva (M-TEC1-01708) se tedy vymyká svojí cenou, která je 4,2 € a ještě svými malými rozměry (15x15x3,3). Podobné rozměry mají ještě články 5105-298 a 1703. První jmenovaný má podobný výkon (9W) a účinnost okolo 55%. Druhý jmenovaný má třetinový výkon ale zase má lepší účinnost (68%). Mezi nejvýkonnější články (červené sloupce) nám vyskočilo hned 5 článků (M-TEC1-24120, TEC1-12730, TEC1-12730,

5105-302 a TEC1-12730HTS). Nejlevnější článek M-TEC1-2412 z uvedených patří společně s článkem TEC1-12730HTS mezi nejvýkonnější (360W). A ani v jiných parametrech nemá levnější článek větší nedostatky. Pouze v účinnosti má hodnotu mírně podprůměrnou (61%). Nejúčinnější článek je TEC1-12730HTS, který vyniká nejenom výše zmíněným výkonem (360W), ale taky vysoce nadprůměrnou účinností (76%). Poslední parametr je Tmax, který udává maximální rozdíl mezi teplou a studenou stranou. U standartních článků se rozdíl pohybuje od 60-68°C. U High Tech technologi je hodnota mírně přes 70°C. Nejlépe v tomto parametru vychází vícestupňové články, které se dostanou až na hodnotu 112°C, cena těchto článků je výrazně vyšší (od 1600 Kč).

ZÁVĚR

Předložená práce srovnává prostředky termoelektrického chlazení v průmyslu komerční bezpečnosti, a to konkrétně Peltierovy články dostupné na internetu. Peltierův článek si můžeme představit jako polovodičovou součástku umožňující termoelektrický ohřev, chlazení nebo přímou přeměnu tepelné energie. Jsou postaveny na fyzikálních principech Peltierova jevu, který je známý skoro 2. století, přesto se jim pozornosti dostává zejména v posledních letech. Díky objevení nových materiálů s výrazně lepšími termoelektrickými vlastnostmi, dochází ke zvýšení účinnosti a s tím je spojeno jejich častější využití. Peltierovy články se využívají zejména pro chlazení malých výkonů. V případě chlazení větších výkonů nejsou energeticky výhodné. Pro efektivní práci a dlouhou životnost termoelektrického chlazení je důležitá zejména kvalita spojení Peltierova článku s chladičem a chlazeným objektem, minimalizace tepelných ztrát, dobrý přenos tepla na styčných plochách a kvalitní napájení. Články jsou napájeny stejnosměrným napětím.

V této bakalářské práci byl vypracován přehled a srovnání internetových prodejců Peltierových článků na českém trhu. Na základě provedené analýzy trhu bylo vybráno 26 článků (z 60 článků), které byly následně porovnány. Porovnání bylo na základě cenové dostupnosti a výkonu samotného článku, ze kterého byl vypočítán poměr ceny článku vůči maximálnímu výkonu. Nejlepší články se v tomto parametru dostaly na hodnotu 1,53 Kč/W. Další srovnání článků bylo podle účinnosti článků (kterou bylo potřeba dopočítat). Na základě velkých rozdílů v účinnosti (8-76%) byla zjištěna závislost účinnosti na maximálním teplotním rozdílu mezi teplou a studenou stranou článku. Články s největším rozdílem teplot dosahují nejnižší účinnosti.

Ze závěrečného srovnání nám vyšly nejlépe dva články. První z nich M-TEC1-24120, vyniká nejlepším poměrem pořizovací ceny vůči výkonu článku a také nejvyšším maximálním výkonem. Druhý článek TEC1-12730HTS má srovnatelný výkon, ale díky dvojnásobné pořizovací ceně ztrácí v poměru cena/výkon. Oproti prvnímu má o 15% větší účinnost, což při předpokládané životnosti článku (cca 20 let) není zanedbatelný rozdíl.

Z této práce je zřejmé, že díky novým materiálům a technologiím výroby Peltierovy články nabývají stále více na významu. Je proto velmi pravděpodobné, že jejich uplatnění bude v budoucnu stále více narůstat.

CONCLUSION

The presented thesis compares the means of thermoelectric cooling in the commercial security industry, specifically Peltier cells available on the Internet. Peltier can be understood as a semiconductor component allowing thermoelectric heating, cooling, or direct conversion of heat energy. They are built on the principles of Peltier effect, which is known to nearly second century, yet they receive particular attention in recent years. With the discovery of new materials with improved thermoelectric properties and increasing efficiency is also joined their more frequent use. Peltier cells are used mainly for cooling of small performances. They are not suitable in the case of larger cooling loads because of lower energy efficiency. For effective performance and durability of thermoelectric cooling the connection quality between the cells, the cooled object and the cooler minimizing heat loss and allowing a good heat transfer at the boundary surfaces is important. Also power quality has great influence. Cells are supplied with DC voltage.

In this bachelor thesis an overview and comparison of online Peltier cells retailers on the Czech market was prepared. Based on the market analysis 26 cells (out of 60 cells) were chosen, which were subsequently compared. The comparison was based on affordability and performance of the cells itself, which was calculated from the ratio of prices to the maximum cell power. The best cells reached the value of CZK 1.53 / W in this parameter. Other cells have been compared by cell efficiency (which was necessary to calculate). On the basis of large differences in efficiency (8-76%) was observed dependence of efficiency on the maximum temperature difference between hot and cold side of cell. The cells with the largest temperature difference have the lowest efficiency.

Based on the final comparison two best cells came out. The first M-TEC1-24120 excels with the best ratio of cost to capacity and with the highest maximum power too. The second cell TEC1-12730HTS has comparable capacity, but because of the twice a big purchase price is losing in ratio price/capacity. In comparison with the first one has by 15% greater efficiency, due to the expected life of the cell (approx. 20 years) it is not a negligible difference.

This work shows that thanks to new materials and production technologies Peltier cells are becoming increasingly important. It is therefore very likely that their application in the future will increasingly grow.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BONNEFILLE, Robert a ROBERT, Jack. *Přímá přeměna energie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1977. 155 s. Řada elektrotechn. literatury.
- [2] MIKYŠKA, Ladislav. *Termoelektrické články*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. ISBN 301-05-35.
- [3] FUKÁTKO, Tomáš. *Teplo a chlazení v elektronice*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-199-3.
- [4] Y. *Contribution a l'étude de l'effet Peltier*. 1. vyd. Dakar: Univ. de Dakar, 1967. ISBN ABA007.
- [5] ROWE. *Handbook of Thermoelectrics*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1995. ISBN 0-8493-0146-7.
- [6] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
- [7] FOIT, Julius. *Základy elektroniky*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04236-6. TOGUYÉNI,
- [8] ČIČMANEC, Pavol. *Elektrina a magnetismus: všeobecná fyzika 2*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1980.
- [9] GOLAB, František, KAMENČÁK, František. *Termoelektrické jevy a jejich užití*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975. 86 s.
- [10] Ferrotec. Copyright Ferrotec (USA) Corporation. [online]. 2001 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef03/>
- [11] BRÁZDIL, Marián. *Peltierův článek pro chlazení malých*. Brno, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17231. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [12] RoHS. *RoHS* [online]. 2003 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.rohs.cz/>
- [13] CONRAD ELECTRONIC. *Conrad* [online]. Praha, 2011 [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/>
- [14] GES Electronics. *GES-ELECTRONICS, a.s* [online]. 1991 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/>
- [15] GM Electronics. *GM electronic, spol. s r. o.* [online]. 1990 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [16] Online prodej LED diod a elektronických součástek. *Radio plus, spol. s r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.svetsoucastek.cz/>
- [17] Elektronické součástky malo-velko obchod. *PS electronic, s.r.o.* [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.pselectronic.cz/>

- [18] Levnejci-zbozi. *JPS Electronic Systems, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2012-05-09].
Dostupné z: <http://levnejci-zbozi.cz/cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

U	kontaktní napětí
T	teplotní rozdíl
a	seebeckova konstanta
b	seebeckova konstanta
I	stejnoseměrný proud
t	čas
V	napětí
Q	teplo
IR	infračervené záření
grad T	teplotní gradient
l	délka
°K	stupeň Kelvina
°C	stupeň Celsia
m	metr
τ	Thomsonův součinitel
%	procenta
ϑ	teplota
φ	Kontaktní potenciál kovů
α	součinitel termoelektrického napětí
W	watt
€	euro
Tmax	maximální rozdíl teplot
mm	milimetr
η	účinnost
CCD	Charge-Couple Device

P výkon

P^I příkon

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Kontaktní napětí[9]</i>	12
<i>Obr. 2 Obvod složený ze tří různých kovů [4]</i>	13
<i>Obr. 3 Princip Seebeckova jevu [11]</i>	14
<i>Obr. 4 Termoelektrický článek s jedním spojem [9]</i>	15
<i>Obr. 5 Princip Peltierova jevu [11]</i>	16
<i>Obr. 6 Homogenní tyč [9]</i>	18
<i>Obr. 7 Zobrazení účinnosti za posledních 65 let</i>	20
<i>Obr. 8 Konstrukce peltierova článku[11]</i>	21
<i>Obr. 9 Peltierův článek [9]</i>	22
<i>Obr. 10 Peltierovy termobaterie zapojené do kaskád[11]</i>	23
<i>Obr. 11 Základní rozdělení Termoelektrických článků[2]</i>	23
<i>Obr. 12 Různé tvary Peltierových článků[10]</i>	24
<i>Obr. 13 Spojení Peltierova článku pomocí mechanického spojení [11]</i>	26
<i>Obr. 14 Spojení peltierova článku pomocí pájení[11]</i>	27
<i>Obr. 15 Spojení peltierova článku pomocí lepení[11]</i>	27
<i>Obr. 16 Vznik napětí na Peltierovu článku[11]</i>	28
<i>Obr. 17 Ukázka standartního článku[13]</i>	34
<i>Obr. 18 Ukázka víceúrovňového článku[13]</i>	41
<i>Obr. 19 Ukázka High Tech článků[13]</i>	43
<i>Obr. 20 Srovnání článků podle výkonu a ceny</i>	49
<i>Obr. 21 Srovnání účinnosti a maximálnímu rozdílu teplot</i>	51
<i>Obr. 22 Srovnání článků dle důležitých parametrů</i>	53

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Seebeckova řada[9]</i>	15
<i>Tab. 2 Parametry článku M-TEC1-12710</i>	35
<i>Tab. 3 Parametry článku TEC1-12730</i>	35
<i>Tab. 4 Parametry článku M-TEC1-12710 225°C</i>	36
<i>Tab. 5 Parametry článku 12705</i>	36
<i>Tab. 6 Parametry článku 12709</i>	36
<i>Tab. 7 Parametry článku TEC1-12708</i>	37
<i>Tab. 8 Parametry článku M-TEC1-24120</i>	37
<i>Tab. 9 Parametry článku 12714 S</i>	38
<i>Tab. 10 Parametry článku M-TEC1-01708</i>	38
<i>Tab. 11 Parametry článku 5105-298</i>	39
<i>Tab. 12 Parametry článku 5105-302</i>	39
<i>Tab. 13 Parametry článku 12706</i>	39
<i>Tab. 14 Parametry článku 7105</i>	40
<i>Tab. 15 Parametry článku 1703</i>	40
<i>Tab. 16 Parametry článku TES2-127-127-30</i>	41
<i>Tab. 17 Parametry článku TEC2-127-63-04</i>	42
<i>Tab. 18 Parametry článku TEC4-97-49-17-7-05</i>	42
<i>Tab. 19 Parametry článku TEC3-127-71-31-06</i>	43
<i>Tab. 20 Parametry článku QC- 127-1.4-8.5MD</i>	44
<i>Tab. 21 Parametry článku QC- 17-1.4-8.5MS</i>	44
<i>Tab. 22 Parametry článku QC-127</i>	45
<i>Tab. 23 Parametry článku TEC1-07103HTS</i>	45
<i>Tab. 24 Parametry článku TEC1-12730HTS</i>	46
<i>Tab. 25 Parametry článku TEC1-12715HT</i>	46
<i>Tab. 26 Parametry článku TEC1-12707HTS</i>	47
<i>Tab. 27 Parametry článku QC-127-2.0-15.0M</i>	47
<i>Tab. 28 Barevné odlišení jednotlivých prodejců</i>	48
<i>Tab. 29 Shrnuté typy standartních článku</i>	48
<i>Tab. 30 Srovnání článků podle ceny</i>	52

SEZNAM PŘÍLOH

K bakalářské práci je přiloženo CD, které obsahuje:

- 1) fulltext.pdf - bakalářská práce v PDF
- 2) srovnání.xlsx - všechny porovnávané Peltierovy články v Exelu