

TECHNICKÉ PROSTŘEDKY CHLAZENÍ POČÍTAČOVÝCH KOMPONENT

TECHNICAL DEVICES FOR COOLING OF COMPUTER COMPONENTS

Pavel VAŘACHA, Vít RAFAJ

Fakulta aplikované informatiky
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín
varacha@fai.utb.cz, rafaj@centrum.cz

***Anotace:** Tento článek popisuje technické prostředky chlazení počítačových komponent. Jsou zde popsány základní teoretické parametry chlazení, stejně jako technologická problematika chlazení součástek vodou, vzduchem v porovnání s Peltierovými články.*

***Abstract:** This article describes technical devices for cooling of computer components. It debates basic theoretical parameters of cooling as well as technological problems of water and air cooling in comparison with Peltier devices.*

***Klíčová slova:** Procesor, grafická karta, PC, chlazení vzduchem, vodní chlazení, Peltierův článek*

***Keywords:** Processor, graphic card, PC, air cooling, water cooling, Peltier device*

1. Úvod do problematiky chlazení počítačových komponent

Chlazení počítačových komponent nabývá stále více na významu. Postupem času se značně změnilo množství odpadního tepla, se kterým se počítače potýkají. Připomeňme si starý procesor INTEL 486DX pracující na 33 MHz, vyráběný od roku 1990. Ten měl hodnotu maximálního ztrátového vyzářeného tepla 5W. Ve své době patřil k hojně vyráběným a běžně osazovaným modelům. Výrobce doporučoval osazení chladičem, tehdy ještě bez ventilátoru. Současné vrcholné procesory obou předních výrobců mají tuto hranici okolo 150W. Problémem však není pouze samotný nárůst spotřeby, větším problémem je poměr takto vyzářeného „odpadního“ tepla vůči ploše, z níž má být vyzářeno.

S postupným snižováním výrobního procesu rostl počet tranzistorů na jednotku plochy. V roce 1999 byl na trh uveden procesor Pentium III s taktem 1000MHz (jádro Tualatin), plochou jádra 146mm² a maximálním vyzářeným teplem na úrovni 28W. Dnešním oblíbeným modelem je Intel Core i5 2500K, jenž má plochu jádra pouze 216mm², ale hodnotu TDP již 95W.

Obdobný problém nastává také u grafických karet. Zde je posun hranice TDP o mnoho markantnější, než u procesorů. Zpočátku grafická karta v PC obstarávala pouze vykreslování 2D obrazu. Rozlišení monitorů používaných dříve byla markantně menší než dnes běžně využívaný standard 1920*1080px, Full HD, chcete-li. S rozvojem herního průmyslu však souvisí i rozvoj 3D grafických akcelérátoru, potažmo pak 3D grafických karet. Prvním velkým průkopníkem na trhu s 3D akcelérátory byla firma 3Dfx. Tehdy se ještě jednalo o karty připojované ke grafické kartě, respektive mezi stávající (2D) grafickou kartou a monitor. V roce 1999 byly na trh uvedeny modely Voodoo 3 tohoto výrobce, s TDP pouhých 10 až 12W. Jednou z prvních vícečipových karet pak byla Voodoo 5 – 5500 se dvěma grafickými procesory a TDP přesahujícím 30W. Dnes aktuálně poslední dvoučipové grafické karty obou předních výrobců (Ati Radeon 6990, Ovidia GTX 590), dosahují téměř ke 400W, přičemž samostatné jednočipové karty se drží v továrním nastavení do 250W.

Je vidět, že jak u procesorů, tak podstatněji u grafických karet, došlo k významnému nárůstu spotřeby a tudíž i vyzářeného „odpadního“ tepla. Toto teplo je nutné z čipu odvést skrze chladič do okolního vzduchu, ideálně pak mimo skříň počítače. Existuje několik možností, jak procesor/y, grafickou kartu/ty a čipy základní desky chladit. Nejpoužívanější metody budou diskutovány v kapitolách 3,4 a 5.

Obecně lze prohlásit, že je li čip chlazen lépe, než je výrobcem navrženo, či doporučeno, má nižší spotřebu a je spolehlivější. Dlouhodobé zatížení čipům nevadí, ovšem dlouhodobé zatížení při současném nedostatečném chlazení dovede způsobit poškození a následnou nefunkčnost čipu. Přinejmenším se zkracuje jeho životnost. Nekvalitní chlazení má rovněž za následek teplotní šoky. Náhlá prudká změna teplot čipům

nesvědčí, větší chladiče, s větší tepelnou setrvačností jsou pak výhodou. Druhou stranou mince je možnost zvýšení provozních taktů, nad úroveň stanovenou výrobcem. Při dodržení adekvátního napájení a nízké teploty si lze dopomoci v běžných podmínkách až k 30% výkonu navíc, za cenu zvýšené spotřeby (dále viz Kapitola 2). Mezi čipem a chladičem je vždy nanесena tenká vrstva teplovodivé pasty, ta se stará o přenos tepla a odstraňuje případné vzduchové bubliny, nebo mezery, jež by zpomalovaly přechodu tepla z čipu na chladič. U méně tepelně výkonných čipů je možnost použít teplovodivé podložky.

2. TDP

Thermal design power (dále jen TDP) je pojem, mající za úkol objasnit spotřebu daného zařízení za běžných provozních podmínek při zachování nastavení daného výrobcem. Uvádí se tedy ve wattch (W).

Existují dva náhledy na tento pojem s mírně odlišným pochopením věci. Obě definice se však shodují na tom, že za určitých podmínek lze tuto hodnotu i významně překročit.

První z uváděných definic se staví k TDP jako k maximálnímu příkonu zařízení za normálních provozních podmínek. Laicky bychom pak TDP mohli přirovnat k maximálnímu příkonu s jistou mírou tolerance.

Druhá z definic se staví k TDP jako k maximálnímu množství energie, tepla, jenž je potřeba chladičem z čipu odvést a vyzářit dále do okolí.

S pojmem TDP pak souvisí i již zmíněný pojem maximálního vyzářeného tepla. Maximální vyzářené teplo je větší než TDP a uvádí maximální možné množství tepla, jenž je potřeba z čipu odvést chladičem. Hodnoty si mohou být v závislosti na konkrétním čipu velmi podobné (rozdíl v řádu jednotek %), avšak převážně se liší významněji (nárůst o 10 až 25%). Takových hodnot vyzářeného tepla je dosahováno několika způsoby. Prvním jsou speciální zátěžové testy, jež mají simulovat podmínky horší, než zpravidla v praxi nastanou. Druhou možností jsou speciální výpočetní programy, které mohou docílit podobné dlouhodobé maximální zátěže a spotřeby.

Kapitolou samo pro sebe je přetaktování, tedy zvedání pracovní frekvence čipu. Účelem je zvýšení výkonu, ať už krátkodobě, či dlouhodobě. Krátkodobé zvýšení taktů, v rozumné míře i napájecího napětí, při zachování výrobcem povolených hodnot teploty nemá negativní vliv na životnost a poruchovost čipu. Dlouhodobé přetaktování je rovněž cesta k výkonu navíc, bez nutnosti pořizovat mnohdy podstatně dražší model čipu. Větší investice do chlazení je pak víceméně nutností. Přetaktováním stoupá spotřeba obvykle strměji nahoru, než jak stoupá frekvence. Provozní vlastnosti v klidu i zátěži se pak mohou podstatně lišit od hodnot udávaných výrobcem pro nominální takty. V běžné praxi se procesory a grafické karty prodávají s referenčním, doporučeným chladičem. Ten dovede v mezích doporučených teplot uchládit čip, jak při běžném zatížení, tak i při maximálním možném.

3. Chlazení vzduchem

V podstatě každý typ chlazení, ať už primárně, nebo sekundárně, předává čipu odebrané teplo do vzduchu. Pod pojmem chlazení vzduchem proto rozumíme stav, kdy je čip osazen chladičem, kovovým žebrováním, jež je následně ofukováno vzduchem proudícím z ventilátoru (viz Obr. 1). Procesor je od výrobce vybaven takovýmito, nebo velmi podobným chladičem. Obvykle dostačuje na uchlazení nepřetaktovaného procesoru. Nevýhodou mnohých takovýchto chladičů je poměrně rychlé zanášení prachem. Obvykle v důsledku absence prachových filtrů u většiny počítačových sestav a pracovních stanic. Nevítaný to nešvar soudobých výrobců počítačových sestav. Prachový filtr, není-li výrobcem osazen, měl by být dokoupen ke všem nasávacím ventilátorům. Údržba filtrů je mnohem jednodušší, než údržba chladičů uvnitř počítače. Chladiče na procesor se vyrábějí v mnoha různých provedeních. Klasické je vyobrazeno na Obr. 1, dalšími jsou chladiče typu věž, kde ventilátor není rovnoběžně se základní deskou, nýbrž obvykle v úhlu 90°, či obecně ve sklonu. Osazení může být s jedním ventilátorem, nebo i s několika. Chladiče typu vějíř jsou pomalu na ústupu. Vějíř může být rovnoběžně se základní deskou, kdy střed vějíře dosedá na procesor, nebo může být kolmo k základní desce a teplo je rozváděno pomocí heatpipe trubice. Heatpipe trubici si lze představit jako měděnou trubičku s ucpávanými konci a porézním povrchem uvnitř, naplněná je kapalinou s nízkým bodem varu. Ta kapilárním efektem a vypařováním putuje od teplého konce ke studenému, kde kondenzuje. Takto dochází pak k přenosu tepla. Tyto trubice se rovněž využívají pro urychlení odvodu tepla u věžovitých chladičů, klasických, vějířovitých i nízkoprofilových. Nízkoprofilový chladič by měl být na výšku nižší, než standardní chladič, ovšem při zachování většího chladičového výkonu. Běžně je osazen nízkoprofilovým ventilátorem a heatpipe trubicemi, ofukuje pak i napájecí obvody, což je žádoucí obzvláště v malých PC skříních a/nebo u výkonných sestav.



Obr. 1: Standardní chladič procesoru firmy Intel

V případě, že celá sestava je chlazená vzduchem, je vhodné držet se několika osvědčených postupů při návrhu chlazení. Kritérií pro volbu komponent může být několik. Hluk, teplota, cena, náročnost montáže, ztráta záruky. Hluk a teplota jsou obvykle chápány jako protichůdné požadavky, ačkoliv tomu tak nutně nemusí být. Volbou vhodné konstrukce chladiče a usměrněním toku vzduchu PC skříně, lze dosáhnout téměř bez kompromisů obojího. Proudění vzduchu skříně je dlouhodobým tématem mnohých. Pravdou ovšem zůstává, že fyziku obejít nelze a vhodné jsou proto dva koncepty.

Nasávat vzduch na jedné straně a vyfukovat na druhou, tedy vytvořit „větrný tunel“ s konstantním směrem průtoku. Ten může být předozadní (obvykle), nebo způsobem dole nasát a nahoru foukat. V obojím jde o dosažení konstantního toku chladného vzduchu do skříně. Boční ventilátory nejsou příliš vítaným doplňkem. Dokáží sice nejbližší komponenty ochladit o několik stupňů, ale daň v podobě nabouraného průtoku vzduchu je v danou chvíli horší než zisk. Tvorba kapes teplého vzduchu je rovněž nežádoucí. Předozadní tok je aplikovatelný jak na skříně naležato, nastojato, se zdrojem dole i nahoře. Pokud je ve skříně prostor, je vhodné na procesor osadit chladič věžového typu. Mnohé jdou natočit v 90° krocích tak, aby se tok vzduchu přizpůsobil nastavenému toku vzduchu skříně. Obdobným způsobem lze volit i chladič na grafickou kartu. Většina nasává vzduch ze skříně a vyfukuje ven skrz chladič grafického čipu. Toto pomáhá předozadnímu proudění. Efektivita takovýchto chladičů je u výkonných modelů hraniční. Ostatní modely cirkulují vzduch uvnitř skříně. Teplota zůstává uvnitř skříně a musí být odvedeno cíleným prouděním vzduchu. Grafické karty využívají rovněž heatpipe, jak referenční, tak i ty s vylepšeným chlazením od výrobce. Referenční výkonné modely pak využívají někdy vapor chamber (odpařovací komoru). Princip funkce je stejný jako u heatpipe, jen komora může být mnohem větší a nahrazuje obvykle základnu chladiče (minimálně v prostoru grafického čipu).

Obvyklým neduhem a velkou chybou při využívání vzduchového chlazení je vytváření podtlaku v PC skříně. Toto má za následek efekt „vysavače“. Ze skříně je odsáváno více vzduchu, než je ventilátory vhnáno. Rozdíl se pak logicky dorovná jakoukoliv dostupnou perforací, nebo neslícováním dílů PC skříně. Do skříně se tedy nevhodnými místy dostává vzduch a prach. A působí potíže ve všech chladičích, v horším případě může zapříčinit vnitřní zkrat.

Existuje zde i možnost kompletně pasivního chlazení. Zdroj, procesor ani grafická karta na sobě nemusejí nést ventilátor, ale pouze pasivní část chladiče. Toto řešení bývá obvykle dražší, náročnější, těžší a dosahuje relativně vysokých teplot. Omezení maximálním možným TDP může být rovněž limitující. Pro málo výkonné sestavy je však aplikovatelné. Vyvážením použité i nevyužité kabeláže uvnitř skříně lze dosáhnout zlepšení průtoku vzduchu a také lepších teplot na chladičích.

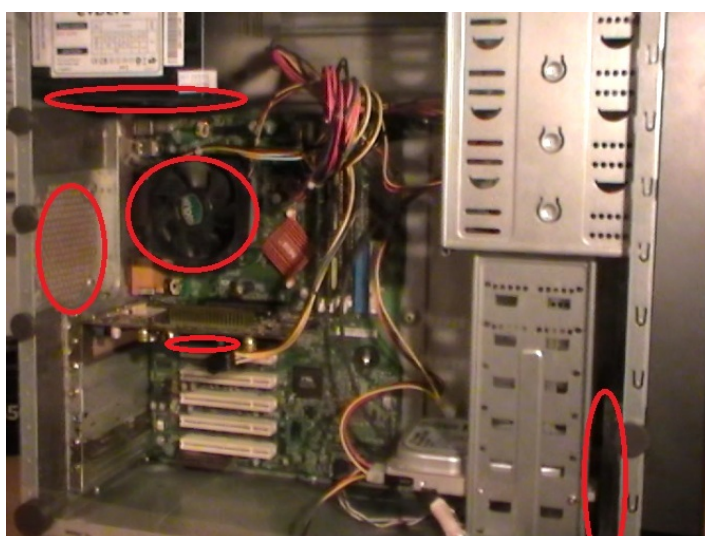
Výhodou téměř všech vzduchových chladičů je poměr cena výkon. Výkon je sice omezený, přesto lze ale dostatkem prostoru dosáhnout výkonu postačujícího i pro přetaktování a/nebo tichý běh. Jednoduchost montáže je taktéž považována za benefit.

3.1 Vizualizace toku vzduchu

Vzhledem k tomu, že většina počítačových sestav je chlazená vzduchem, jsme se rozhodli, podrobit ji zevrubnějšímu zkoumání. Důvod vizualizace byl prostý. Chtěli jsme zjistit, jakým způsobem, při různých konfiguracích osazených ventilátorů, dochází k proudění vzduchu uvnitř počítačové skříně. Domnívali jsme se, a testy potvrdily, že optimalizace toku vzduchu pomáhá jak snížit hlučnost (není nutně potřeba tolik ventilátorů, nebo nemusí být nastaveny na tak vysoké otáčky), tak snížit teploty chlazených komponent. Dalším důvodem pro vizualizaci bylo také to, že spousta konzumních, skládaných PC sestav, nemá správně vyřešen průtok vzduchu a sestavy nejsou optimálně chlazené. Náš proudový model, tudíž dává možnost vzorové sestavy otestovat a toky vzduchu vizualizovat, za současného nepoškození jakékoliv komponenty pc.

Vzorová sestava se skládala ze standardní skříně KME, osazen byl přední 120mm ventilátor, regulovaný po krocích OFF/ 5V/ 7V/ 12V. Ventilátor na procesoru v našich vizualizacích je nastaven na konstantních 10V a jde o běžný 80mm ventilátor s kuličkovými ložisky a nevyjímatelnou vrtulí. Konfigurace sestavy je se zdrojem v horní pozici. Ačkoliv dnes je na trhu již spousta skříní se zdroji ve spodní pozici, nepovažujeme toto za vhodný model. Se stoupající kvalitou zdrojů není problémem horní umístění a využití ventilátoru zdroje pro cirkulaci vzduchu ve skříně PC. Ventilátor pod zdrojem, respektive pak za chladičem procesoru, byl puštěn stále na 12V a šlo o model s mírně vyššími pracovními otáčkami (2800rpm/12V). Zadní otvor byl pro potřeby testování buďto průchozí, nebo neprůchozí. Přední i zadní ventilátor byly pro potřeby vizualizace voleny jako barevné. Chladiče na procesoru se pak vystřídal dva. Standardní chladič typu BOX (podobný jako model na Obr. 1) a chladič Cooler Master Hyper TX2, věžovitě konstrukce. Jako generátor kouře byl použit lihový vyvíječ par Graupner model 2390, 12V napájecí napětí a 1,6 až 1,7A špičkový odběr.

Je v plánu s vizualizacemi pokračovat a otestovat i sestavy s výkonnějšími grafickými kartami než byla ta v testovací sestavě (Ati Radeon 9600 Pro). Rovněž je v plánu otestovat také jiné typy skříní s jiným, atypickým uspořádáním komponent, či skříní s pomocnými větrnými štíty. Máme důvod se domnívat, že výrobci sestav nedbají podobného testování a prostor pro snížení hlučnosti a teploty sestav se nám tak stále v hojné míře nabízí.



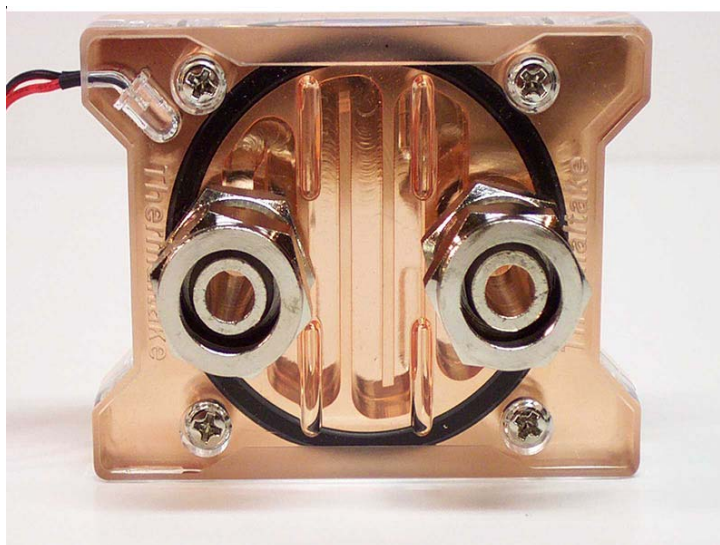
Obr. 2: Vzorová vizualizační PC sestava se znázorněním pozic ventilátorů, jediný zadní ventilátor není na tomto obrázku osazen, jeho pozice je však znázorněna



Obr. 3: Vzorová PC sestava s vyznačenou pozicí vyvíječe kouře

4. Vodní chlazení

Mnoho lidí si neumí představit, jak vodní chlazení vlastně vypadá. Laicky by se dalo říct, že je jedná o uzavřený okruh, v němž díky pumpě cirkuluje kapalina. Konkrétně směsice destilované vody, ethanolu a několika antikoročních aditiv. Každá z chlazených součástek, může to být procesor, operační paměť, pevné disky, grafické karty, čipy základní desky i napájecí zdroj, má na sobě tzv. vodní blok. Jde o kovový obrobek, v němž je vyfrézován kanálek pro průtok vody. Pro názornost, viz Obr. 2. Obdobným způsobem jsou pak řešeny všechny bloky. U procesorů se experimentuje s mnoha různými vzory základny, některé mají i více než i jeden vstup nebo výstup. Chlazený čip zesponu blok zahřívá a protékající voda jej chladí a přenáší teplo do radiátoru, jenž je ofukován ventilátorem. Radiátor by měl pak být ideálně umístěn vně PC skříně. Použitím vodního chlazení lze dosáhnout nulového průtoku vzduchu ve skříně a veškeré „odpadní“ teplo odvést mimo. Voda díky své velké tepelné kapacitě je pak ideální médium pro přenos. Obvykle se vodní bloky vyrábějí z mědi, nebo z mědi, galvanicky pokovené niklem. Hliník je spíše výjimkou.



Obr. 4: Vzorový vodní blok na procesor PC sestavy

Díky přímému kontaktu vody a bloku je teplo efektivně a rychle odvedeno. V tabulce Tab. 1 jsou popsány pro měření klíčové komponenty. Budeme porovnávat rozdíl mezi vodním chlazením a chlazením vzduchem. V tabulce Tab. 2 pak jsou uvedeny naměřené výsledky.

Testovací sestava	
Procesor:	AMD Athlon X2 5200+
TDP Procesoru:	89W
Teplota okolí:	24°C
Teplota vody:	24°C
Pumpa:	Laing D5 Ultra
Příkon pumpy:	23W
Blok na procesoru:	Aquacool Stixion B-400
Radiátor:	Watercool MORA 3
Vzduchový chladič:	Choler Master TX2
Poznámka: Teplota vzduchu změřena skrz meteocentrálu Bravo 5039 a teplota protékající vody byla změřena průtokovým čidlem firmy BitsPower	

Tab. 1: Popis měřicí soustavy

Postup měření byl následující. Sestava se nechala najet do windows, počkalo se 5minut pro ustálení klidové teploty po najetí systému. Poté se spustil náročný výpočetní test skrz program OCCT v4.2. Zátěžový test trval 10minut a do tabulky je pak zanesena nejvyšší zaznamenaná teplota. Po testu se sestava nechala jet 5minut v klidu, bez zátěže a odečetla se klidová teplota. Byla použita teplovodivá pasta Arctic MX-2. Teploty byly zaznamenány z programu Lavalyst Everest v4.5.

Naměřené hodnoty	
Vzduchový chladič:	
Teplota v klidu	34°C
Teplota v zátěži	46°C
Vodní chladič:	
Teplota v klidu	30°C
Teplota v zátěži	35°C

Tab. 2: Výsledky měření

Jak je v tabulce 2 patrné, teplota procesoru v klidu není dramaticky rozdílná, ale vidět přínos vodního chlazení. V zátěži je pak již rozdíl markantnější a to až 11°C. Toto už lze považovat za skutečně velký rozdíl. Měřicí sestava byla umístěna mimo počítačovou skříň. Lze tedy předpokládat, že teplota naměřené pro vzduchové chlazení by se mohla v řádu několika málo jednotek °C posunout směrem vzhůru. Rozdíl by pak mohl narůst na konečných cca 15°C. Tento rozdíl by byl ještě větší, použili bychom procesor s větším TDP. Vodní chlazení se tedy obecně hodí na ještě výkonnější procesory, nebo na komplexní chlazení sestav i s více procesory nebo více grafickými kartami. Největší nevýhodou proti vzduchovému chlazení je vstupní náklad a mírně zvýšená spotřeba díky pumpě. Velkou výhodou je pak podstatně nižší teplota čipu, mající pozitivní vliv na životnost, a výsledné ticho. Vodní chlazení se proto často využívá u sestav, které jsou v prostředí kde je vyžadován jak vysoký výkon, tak ticho. I velmi výkonná sestava lze chladit radiátorem, nebo několika, aniž by byly aktivně ofukovány ventilátory. Chladič v našem měření nebyl ofukován aktivně, neboť je stavěn na mnohem větší tepelnou zátěž.

5. Peltierův článek

5.1 Teorie – princip fungování

Princip peltierova článku je znám již přes skoro dvě století. V roce 1834 jej popsal J. C. Peltier. Jde o jev, který nastává na při průchodu stejnosměrného proudu vodiči z různých materiálů (obvykle telur - Te a bismut - Bi). Na přechodu těchto dvou materiálů dochází pak při průchodu stejnosměrného proudu na jedné straně k absorpci tepla a na druhé straně k vyzařování tepla. Peltierův článek by se tak dal nazvat „tepelnou pumpou“, jak jej v mnohých neoborných článcích najdete. Článek pak prakticky přenáší teplo z chladné strany na teplou stranu při určité vlastní spotřebě. U článku se tudíž rozlišuje tzv. Teplá strana a chladná strana. Na chladné straně dochází k absorpci tepla, na teplé straně pak k vyzařování přeneseného tepla a tepla vyprodukovaného samotným přenosem. Peltierův článek je pak o to účinnější, čím větší jde do něj proud a čím větší teplo jsme schopni odebrat z teplé strany a držet tak její teplotu co možná nejnižší. Čím větší je rozdíl teplot mezi chladnou a studenou stranou, tím lépe. V praxi lze snadno díky těmto článkům dosáhnout teplot pod teplotou okolí, nebo při dostatečném výkonu článku, také teploty pod bodem mrazu. V PC technice je teplota pod 5°C v podstatě nežádoucí. Dochází ke kondenzaci vody a vzrůstá riziko zkratu. Proto je vhodné používat článek s výkonem přiměřeným TDP procesoru a s možností napěťové nebo proudové regulace. Procesor bez zátěže má mnohem menší TDP než v zátěži a tomu se musí přizpůsobit také článek. Aby nedocházelo ke kondenzaci. Vzhledem k tomu, jak je článek závislý na rozdílu teplot obou stran a na tom, že na teplé straně je potřeba odvést více tepla než by jinak bylo nutné pouze ze samotného čipu, obvykle se v PC technice používají peltierova články v kombinaci s vodním chlazením.

5.2 Praktické poznatky a měření

Tabulka 3 udává popis sestavy. Pozornost by měla být věnována hlavně poměru Q_{max} a TDP procesoru, jež jsou v rovnováze. Q_{max} u článku však platí při maximálním napájecím napětí článku, jež je cca 16V. My jsme ale v měření článek napájeli pouze 12V z PC zdroje. Článek byl umístěn mezi procesor a vodní blok tak, aby chladnou stranou přiléhal na procesor a teplou na chladič. V opačném případě by mohlo dojít jak k poškození článku, tak k poškození procesoru. Vzhledem k relativně velkému rozdílu příkonu sestavy s běžným vzduchovým chladičem, je pro toto měření uveden rovněž příkon sestavy. Ten byl měřen přístrojem GME PM001-F, mající přesnost měření na desetinu W a odchylku měření. Postup měření je pak shodný s měřením v kapitole 4.

Testovací sestava	
Processor:	AMD Athlon X2 5200+
TDP Procesoru:	89W
Teplota okolí:	24°C
Teplota vody:	24°C
Pumpa:	Laing D5 Ultra
Příkon pumpy:	23W
Blok na procesoru:	Aquacool Stixion B-400
Radiátor:	Watercool MORA 3
Peltierův článek:	M-TEC1-12710, 89W Qmax
Napájecí napětí článku:	12V
Poznámka: Teplota vzduchu změřena skrz meteocentrálu Bravo 5039 a teplota protékající vody byla změřena průtokovým čidlem firmy BitsPower.	

Tab. 3: Popis měřicí soustavy

Naměřené hodnoty	
Peltierův článek + vodní chladič:	
Teplota v klidu	2°C
Teplota v zátěži	30°C
Spotřeba v klidu	155W
Spotřeba v zátěži	209W
Vodní chladič:	
Teplota v klidu	30°C
Teplota v zátěži	35°C
Spotřeba v klidu	60W
Spotřeba v zátěži	120W
Chlazení vzduchem (CM Hyper TX2):	
Teplota v klidu	34°C
Teplota v zátěži	46°C
Spotřeba v klidu	34W
Spotřeba v zátěži	94W
Poznámka: spotřeba sestavy se vzduchovým chlazením je pouze orientační a je dána odečtením příkonu pumpy od výsledků naměřených s vodním chlazením, se započítáním účinnosti zdroje cca 87%.	

Tab. 4: Výsledky měření

6. Závěr

Z tabulky číslo 4 lze vyčíst následující, článek byl při použití bez zátěže až příliš předimenzován a měl by být regulován, neboť 2°C na procesoru bez zátěže není dlouhodobě akceptovatelná teplota. Teplota v zátěži je pak pouze 6°C nad teplotou okolí, což je dobrý výsledek vzhledem k tomu, že bylo použito napájecí napětí 12V místo maximálních 16V. Spotřeba sestavy je ovšem díky použití článku drasticky vyšší a dlouhodobě se tak z ekonomického hlediska nevyplácí. Pro potřeby krátkodobých testů možností čipů se však přesto hodí. Chlazení vodou je pak rozumným a vhodným kompromisem mezi provozními vlastnostmi a náklady na energii. U výkonných sestav se spotřeba čerpadla a ventilátorů (dohromady cca 35-40W) relativně ztratí a částečně také smaže díky tomu, že čipy na nižší teplotě mají nižší příkon. Proběhlo také krátké orientační měření v kombinaci peltierův článek a použitý vzduchový chladič Hyper TX2, spotřeba nebyla zaznamenána, avšak teplota v klidu byla 12°C a teplota v zátěži 40°C. Zde se ukázala nízká účinnost článku díky vzduchovému chladiči. Teploty v klidu jsou sice akceptovatelné, teploty v zátěži už pak ale vzhledem ke spotřebě a malému rozdílu vůči přímo nasazenému vzduchovému chladiči, nikoliv.

Peltierův článek tak zůstane v PC technice spíše prostředkem testovacím než masově nasazovaným. Při ekologickém pohledu na věc je rovněž neefektivní.