

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA VÝPOČETNÍ A DIDAKTICKÉ TECHNIKY

CHLADICÍ SYSTÉMY POČÍTAČŮ
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Peter Kozák

Přírodovědná studia, obor Informatika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Ing. Petr Michalík

Plzeň, 2015

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 1. dubna 2015

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Petru Michalíkovi, Ph.D. za jeho trpělivost, ochotu, odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

ZDE SE NACHÁZÍ ORIGINAL ZADÁNÍ KVALIFIKAČNÍ PRÁCE.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku chlazení počítače. Je zde popsáno, proč je třeba počítač chladit, jaké komponenty vydávají nejvíce tepla a jaké jsou vhodné způsoby jejich chlazení. Dále práce popisuje rozdělení chladičů podle komponent, které mají být chlazeny. Náplní praktické části je srovnání několika typů chlazení na reálném zařízení. Nakonec je zde popsána možná budoucnost chlazení počítačových komponent.

ABSTRACT

The main topic of this thesis is computer cooling. This document describes the reasons why cooling is necessary, which components are most heated and way how to cool them down. There are also analyzed different types of computer coolers. Practical part of thesis compares several ways of computer cooling on real device. Finally, the future of computer components cooling is mentioned.

OBSAH

1	ÚVOD	2
2	TEORETICKÁ ČÁST	4
2.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	4
2.2	ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA	6
2.2.1	Přenos tepla vedením	6
2.2.2	Přenos tepla vyzařováním	6
2.2.3	Přenos tepla prouděním	7
2.3	CHLAZENÍ HARDWAROVÉ A SOFTWAREOVÉ	8
2.4	MOŽNOSTI CHLAZENÍ KOMPONENT	9
2.4.1	Pasivní chlazení	9
2.4.2	Proudící vzduch (aktivní chlazení)	12
2.4.3	Heatpipe	15
2.4.4	Vodní chlazení	17
2.4.5	Kombinované chlazení	22
2.4.6	Alternativní způsoby chlazení	23
2.5	CHLAZENÍ KOMPONENT	27
2.5.1	Nenáročné komponenty na chlazení	27
2.5.2	Náročné komponenty na chlazení	28
2.6	VHODNÉ CHLAZENÍ POČÍTAČE	30
2.6.1	Chlazení vzduchem	30
2.6.2	Vodní chlazení	32
2.7	BUDOUCNOST CHLAZENÍ	34
3	PRAKTICKÁ ČÁST	36
3.1	VODNÍ CHLAZENÍ VS. AKTIVNÍ CHLAZENÍ PROCESORU	36
3.2	EXPERIMENTÁLNÍ CHLAZENÍ POČÍTAČE OLEJEM	44
	ZÁVĚR	49
	RESUMÉ	51
	SEZNAM LITERATURY	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	55
	PŘÍLOHY	I
	PŘÍLOHA 1 – VODNÍ CHLAZENÍ VS. AKTIVNÍ CHLAZENÍ PROCESORU	II
	PŘÍLOHA 2 – EXPERIMENTÁLNÍ CHLAZENÍ POČÍTAČE OLEJEM	X

1 ÚVOD

Počítače jsou technologie velmi perspektivní a pro člověka v dnešním světě už nedílnou součástí jeho života. Jsou opravdu všude, kam se poohlédneme, nemusí být vidět, stačí to, že něco řídí. To, že dokáží řídit např. technologické procesy je v důsledku činnosti člověka, který tuto technologii vytvořil a posouvá ji stále rychleji kupředu. Výkonnost dnešního počítače jsme si před několika lety nedokázali představit. S jeho výkonností ovšem souvisí také dostatečné chlazení.

Každá komponenta je odlišně náročná na výdej tepla při své práci. Souvisí to s energetickým příkonem při určité pracovní zátěži. Pro každou komponentu je výrobcem doporučen určitý typ možnosti chlazení. Může to být chlazení pasivní nebo aktivní. V případě zkušenějšího uživatele se můžeme rozhodnout vyměnit chlazení výrobce za kvalitnější, např. vodní chlazení, popřípadě experimentovat s alternativními způsoby chlazení jako je kompresorové, popřípadě ponoření počítače do transformátorového oleje. Nedílnou součástí systému chlazení počítače je vhodné zvolení počítačové skříně, ve které budou komponenty umístěny. Průtok vzduchu nesprávným směrem může vyvolat větrný vír a způsobit špatný odvod vzduchu. Komponenty se začnou více zahřívat, což může vést k omezení výkonu, zkrácení životnosti, případně až k poškození komponenty. Pro dokonalejší chlazení a prodloužení životnosti komponent je vhodné například vodní chlazení. Na základě vlastní zkušenosti bylo zjištěno snížení teplot v některých případech až o polovinu, než s dodávaným továrním chladičem. Systém vodního chlazení je ovšem náročnější na provoz, údržbu a montáž. Vodní bloky je důležité správně upevnit a před prvním spuštěním zkontrolovat těsnost celé soustavy.

Práce je rozdělena do dvou částí. První část je zaměřena teoreticky, pojednává o způsobech šíření tepla z komponent a s nimi spojené možnosti chlazení pro odlišně náročné komponenty. Je zde také uveden vhodný návrh chlazení v počítačové skříně tak, aby všechny komponenty byly optimálně chlazeny a odpadní teplo bylo ze skříně odváděno co nejkratší možnou cestou.

Druhá část je experimentální. Prokazuje rozdíly teplot box chladiče dodávaného výrobcem a vodního chlazení dodatečně umístěného na procesor. Počítač byl také přetaktován, aby bylo otestováno, zda je chladič dimenzován na vyšší výkony, než v jakých je procesor

dodáván. V praktické části byl také vyzkoušen experiment porovnání teplot chladičů na komponentách při chlazení vzduchem a olejem. Experimentální část byla prováděna v domácích podmínkách, při pokojové teplotě 23°C, jednalo se o amatérsky realizované experimenty.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Výpočetní technika patří k jedním z nejrychleji se vyvíjejících odvětví. V dnešních dobách je zapotřebí více se věnovat chlazení komponent zejména díky zvyšující se pracovní frekvenci, zmenšování rozměrů polovodičových součástek, ale otázka je, co vlastně s teplem, které součástky vyprodukují? Součástky se umísťují na stále menší plošné spoje, kde se díky tomu zmenšují mezery mezi nimi a okolní teplota se tím pádem zvyšuje daleko rychleji.



Obrázek 1: Procesor Intel Pentium 4 - 2,5GHz s jádrem Northwood [4]

Velká část elektrického příkonu, kterou součástky potřebují ke své činnosti, se mění na odpadní teplo. Zmenšováním součástek se stává realizace ochlazování technicky náročnější. „Rychlejší“ součástky spotřebují více elektrické energie a to směřuje k vyšší produkci tepla. Maximální pracovní teplota polovodičových součástek je omezena (viz dále). Pokud se zaměříme na spotřebu a vybereme některé procesory z historie, kupříkladu procesor Intel 8085 s pracovním napětím 5V a spotřebou

0,74W [1] oproti mladšímu procesoru Pentium 4 s napětím 1,375 V – 1,75 V, který měl ovšem spotřebu 55W – 75W [2], je vidět zvyšující se výkon, zmenšení součástek a zvyšující se teplota se spotřebou.

Výroba polovodičů byla díky technologiím miniaturizace a integrace



Obrázek 2: Procesor Intel 8086 [3]

posunuta o kus dále. Původní výroba polovodičových součástek využívala jako základní materiál germanium, kde byla pracovní teplota 60°C. Tento materiál byl pro své převážně lepší vlastnosti nahrazen výrobou polovodičů z křemíku, kde provozní teplota dosahuje 150°C až 200°C [5]. Polovodičům vysoká teplota nesvědčí, jejím zvýšením se zhoršují jejich

vlastnosti a snižuje se spolehlivost. Například zahříváním diody klesá rezistence v závěrném směru, a proto dioda začne propouštět více elektrického proudu, což by mohlo mít bez odvodu tepla chlazením nevratné (destrukční) následky pro hardware. Pokud nebudeme dbát na dostatečný odvod odpadního tepla, počítejme s tím, že elektronika dříve nebo později začne mít problémy. První příznaky se mohou projevit jako „zasekávání“ operačního systému, jeho nezvyklé „padání“ (stav Halt), anomáliemi v zobrazování na monitoru až po samovolné restartování systému. V lepším případě stihneme zasáhnout ještě včas, v opačném případě se nám to může velice prodražit, a co teprve, když nenávratně přijdeme o důležitá data.

Odvod tepla z počítačové skříně je základ správně fungující počítačové sestavy. Nejčastější složení prvků chlazení odvádějících teplo je kombinace dobře vodivých kovů, nejčastěji mědi a hliníku. Měď je výhodná z důvodu velmi dobré tepelné vodivosti a hliník také z důvodu nízké hmotnosti. U chladičů se může realizovat také nucené proudění vzduchu jako chladicího média v podobě ventilátoru.

Důležitou roli z hlediska problematiky chlazení je také umístění počítače v místnosti a typ počítačové skříně, ve které máme komponenty umístěny. Dnes je standardem mít zdroj ve spodní části skříně ventilátorem směřovaným dolů. Skříň má samostatně vytvořený průduch pro zdroj a často zde nalezneme také prachový filtr, snižující možnost vniknutí prachu do zdroje. Dále bychom měli využívat otvor pro přední ventilátor s větším průměrem a to z důvodu velkého průtoku vzduchu, ventilátor na procesoru a nakonec ventilátor umístěný na zadní straně, který odvádí teplo ze skříně. Pro dobré chlazení v počítači bychom měli mít vytvoření tunel. Už samotný ventilátor v přední části počítačové skříně sníží teplotu pevných disků a zadní se postará o odvod přebytečného teplého vzduchu vyprodukovaného základní deskou a ostatními komponenty. Další variantou je vodní chlazení, které bude v práci také popsáno.

Na trhu výpočetní techniky se standardně prodávají procesory s box chladičem. Pouze procesor od výrobce AMD řady Black Edition nedodává chladič k procesoru vůbec. Je totiž určen pro náročného uživatele, kde se počítá s tím, že chladič na procesor bude pořízen dle jeho výkonu. Ostatně značka AMD oproti konkurenčnímu výrobcí procesorů Intel má

zvýšenou spotřebu. Při srovnání procesorů AMD FX-8350 a Intel i5-3570K je spotřeba rozdílná cca o 50W [6].

2.2 ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA

Každý polovodič, či jiná elektronická součástka při průchodu proudu či napětí produkuje teplo. Známe celkem tři způsoby, jak se teplo dokáže šířit.

2.2.1 PŘENOS TEPLA VEDENÍM

Vedení tepla, jinak řečeno kondukce, je způsob přenosu tepla nacházející se ve všech skupenstvích a především v pevných látkách. Teplo se v látkách šíří kmitajícími částicemi. Při jejich pohybu a nárazu do sebe si částice předávají kinetickou energii. Zvyšováním teploty se částice pohybují rychleji a tím se teplo zvyšuje [7].

V praxi si to můžeme představit při zahřívání kovové tyče. Na jednom konci ji budeme zahřívát a na druhém budeme cítit, jak se zahřívá. Molekuly v ní díky ohřevu kmitají rychleji a rychleji, díky tomu se teplo přenáší na druhou stranu tyče.

Vedení tepla funguje v počítači například při přechodu z teplejší stěny na stěnu chladnější. Tento jev nalezneme u procesoru a jeho chladiče, kde je na procesor nanesena chladící pasta, která rychleji odvádí teplo z procesoru do chladiče. Pasta je zde také z důvodu vyplnění mezery mezi chladičem a CPU¹. Nelze vytvořit dokonalou rovinu tak, aby obě plochy na sebe doléhaly přesně, proto tuto nedokonalost roviny vyplňuje. Přenos tepla vedením můžeme najít také u chlazení grafického čipu či chipsetu².

2.2.2 PŘENOS TEPLA VYZAŘOVÁNÍM

Vyzařování, jinak zvaná radiace probíhá díky elektromagnetickému záření. Vyzařování je také jinak zvané infračervené záření. Každá fyzická věc s teplotou vyšší než okolní, teplo vyzařuje a každé těleso s teplotou nižší než okolní teplo pohlcuje. Budeme-li se bavit o elektrosoučástkách, v nichž bude „probíhat“ elektrický proud při určitém napětí, budou se zahřívát. Velikost součástek, jejich zabarvení a povrch mají vliv na vyzařování tepla. Těleso

¹ CPU – Anglická zkratka Central Processing unit – centrální výpočetní jednotka (procesor)

² Chipset – několik integrovaných obvodů, zajišťujících komunikaci mezi procesorem, sběrnici, sloty, řadiči a ostatními součástmi základní desky

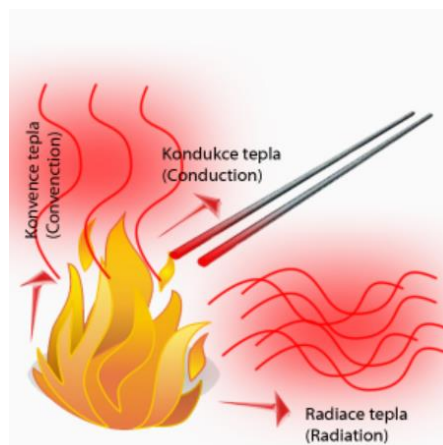
s tmavou barvou a matným povrchem přijímají a také vyzařují více tepla. Naopak tělesa světlá a lesklá přijímají méně tepla.

Při výběru chladiče jeho barva a velikost nemá vliv na teplotu ochlazované komponenty. Doporučení výrobců chladičů je vyhnout se „domácím“ úpravám typu lakování chladiče sprejem, popřípadě jiné změny barvy. Vrstva laku brání rychlejšímu odvodu tepla a zhoršuje podmínky tepelné vodivosti.

2.2.3 PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM

Teplo přenášené prouděním, jinak nazývané konvekce, probíhá mezi povrchem pevného tělesa a kapalinou nebo plynem, které se nachází kolem tělesa. Nejčastější jev je, pokud ochlazujeme součástku vzduchem, vodou a zřídka i olejem. Proudění tepla může být rychlejší ve srovnání s vedením tepla. Součástka vydávající teplo, má tzv. samovolné tepelné proudění, nebo jinak zvaný fyzikální děj volná konvekce. Pokud k této součástce přidáme ventilátor, urychlíme tepelné proudění a ochlazování komponenty. Tento jev nazýváme nucená konvekce.

V počítači je tento způsob nejčastěji využíván ve formě ventilátoru na pasivním chladiči, který slouží k přenosu tepla vedením. U vodního chlazení je ventilátor nahrazen vodní pumpou.



Obrázek 3: Způsoby šíření tepla [8]

Při použití ventilátoru s nízkými otáčkami nemusí pasivní chladič stačit ochlazovat součástku. V tomto případě může dojít k přehřátí. Podobné je to při nasazení příliš výkonné vodní pumpy, kdy se kapalina v soustavě nestihne dostatečně ochladit a soustavou tak

bude proudit kapalina s vyšší teplotou nevhodnou pro ochlazování[7]. V těchto uvedených případech ochlazování ztrácí smysl.

2.3 CHLAZENÍ HARDWAROVÉ A SOFTWARE

Životnost komponent v počítači je závislá především na teplotě a čistotě počítače. Čím lepší chladičí podmínky zajistíme, o to více prodloužíme životnost našeho zařízení. Ať už se jedná o stolní počítač nebo notebook. Při chlazení počítače, respektive jeho komponent, máme dvě hlavní možnosti, jakými můžeme chlazení ovlivnit: chlazení hardwarové anebo softwarové. Pokud vezmeme nejprve chlazení hardwarové, měli bychom se zaměřit na níže uvedená doporučení.

Neplatí vždy pravidlo nejdražší chladič se rovná nejlepší chladič. Záleží samozřejmě na komponentě, kterou budeme chladit. U procesorů je možno využívat chlazení pouze pasivního, ovšem není to zcela doporučené. Pasivní chladič, i přestože může být rozměrově opravdu velký, nedokáže v případě dlouhodobé zátěže ochránit CPU natolik, aby teplota nepřekročila svou kritickou hranici. Jednou z dalších nevýhod těchto pouze pasivních chladičů je jejich velikost. Chladič svou vahou může způsobit prohýbání základní desky, kde v namáhavých místech může dojít k mikroskopickému narušení kontaktů, které se může změnit na nevodivý spoj. Proto je vhodnější použít menší chladič s ventilátorem. U komponent jako jsou CPU, grafická karta apod. existuje možnost regulace otáček. Existují regulátory otáček na přední panel počítačové skříně, kde si sami můžeme zvolit rychlost ventilátoru tak, jak nám bude nejlépe vyhovovat. Bohužel díky vlastní regulaci nemusíme vystihnout, jak velký přísun vzduchu daná komponenta potřebuje. Je to dáno subjektivním vnímáním člověka a případnou snahou o snížení hlučnosti způsobené ventilátorem. Volíme proto raději kvalitnější chlazení, nejen z důvodu dobrého chlazení komponent, ale také z důvodu správného odvádění odpadního tepla z počítače.

Softwarové chlazení nám umožňuje kontrolu za běhu počítače a zjištění téměř přesných teplot, kterých komponenty dosahují. Už při samotném startu v BIOSu³ si můžeme nastavit, při jaké teplotě CPU se má počítač vypínat, varovat nebo nastavit do úsporného režimu.

³ BIOS – Anglická zkratka Basic Input Output System pro paměť typu ROM, která zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými komponentami počítače. BIOS předává informace o hardwaru systému, který je dále zpracovává.

Můžeme tuto volbu samozřejmě vypnout a je jen na nás, jak si tuto situaci ohlídáme. Jedním z informačních softwarů o teplotách v počítači je například program Everest či SpeedFan. Oba tyto programy dokáží poskytnout informace o teplotách na konkrétních komponentách. Při náročnějších operacích a vyšších pracovních frekvencích teplota komponent stoupá.

K většině základních desek je dodáván software, který umožňuje tzv. podtaktovat procesor, pokud ho plně nevyužíváme. Nízkou frekvencí snížíme jednak teplotu, elektrický příkon (spotřebu), ale hlavně prodloužíme životnost komponent a zařízení. Procesory firmy AMD mají toto od patice A a u firmy Intel od patice 775 [9]. Dalším regulátorem teploty jsou aplikace dodávané k ovladačům grafických karet, kde si můžeme sami zvolit pracovní frekvenci grafické karty a otáčky ventilátoru na ní. Ovšem zde je potřeba dávat také velký pozor, protože grafická karta patří ke komponentám někdy i vytíženějším než procesor. Neměli bychom proto zasahovat do regulace otáček jejího ventilátoru chlazení.

Jednou z důležitých věcí, kterou jen obtížně můžeme ovlivnit, je dosedající prach na komponenty a chladiče. I tomuto problému se však dá do určité míry předcházet, ale o tomto problému bude psáno dále.

2.4 MOŽNOSTI CHLAZENÍ KOMPONENT

Komponenty v počítači jako jsou základní deska, grafická karta, procesor, zdroj, pevný disk apod., potřebují určitým způsobem chladit. Komponenty jako pevný disk využívají vlastního chlazení kovovým obalem. Procesor nebo grafická karta využívají chladiče aktivní či pasivní, popřípadě vodní. Každá komponenta má svou pracovní teplotu, při jejímž překročení začíná docházet ke zpomalování činnosti součástek a následným problémům způsobených přehřátím, např. nárůst poruchovosti.

2.4.1 PASIVNÍ CHLAZENÍ

Pokud hovoříme o pasivním chlazení, patří sem tzv. radiátor vyrobený z mědi a hliníku vhodných pro pasivní chladič využívající konvekčního proudění zahřátého vzduchu ze součástky. Pasivní chladič vyrobený z obou kovů je většinou postaven tak, že jeho odváděcí plocha je měděné jádro, navázané na hliníkové žebrování. Čím více je měděné jádro kvalitnější a jeho plocha se projevuje vysokým leskem, tím se zvyšuje jeho tepelná vodivost

na rozdíl od hrubé nevyleštěné plochy. Nerovnosti u styčných ploch pomáhá vyplnit chladicí pasta, jak již bylo dříve zmíněno. U žebrování je důležitý rozestup žeber mezi sebou. Pokud se jedná o pasivní chladič, jsou využívány větší mezery pro lepší cirkulaci vzduchu. Jedná-li se o chladič kombinovaný, kterému přidáme ventilátor, žebrování může být blíže u sebe, ale ne příliš, aby mohl proudící vzduch z ventilátoru dostatečně ochlazovat chladič komponenty [7].

Na menší čipy, jako jsou chipsety, můžeme použít chladič vyrobený z mědi, protože chlazení chipsetu se u běžné základní desky obejde bez ventilátoru a chladič nedosahuje velkých rozměrů, tudíž ani hmotnosti. Pasivní chladič nabírá účinnosti v závislosti na jeho ploše. Čím je jeho chladicí plocha větší, tím více tepla absorbuje [10]. Pasivní chladič patří mezi nejtíšší chladicí jednotky v počítači, protože neobsahuje žádnou mechanickou součást, která by způsobovala hluk.

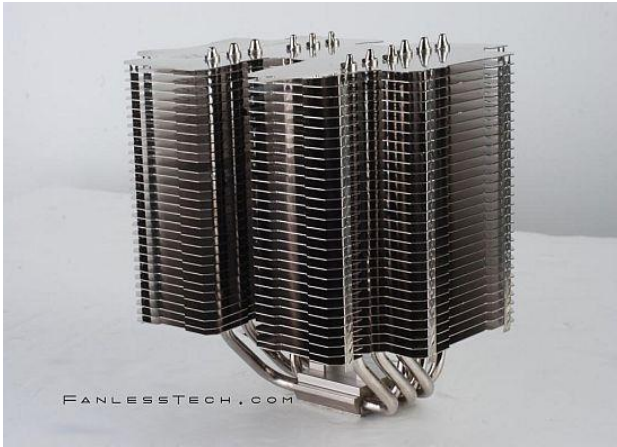


Obrázek 4: Chladič vyrobený extrudováním [11]

Výroba pasivních chladičů může probíhat několika způsoby. U malých chladičů, které se mohou používat na chipsety, nebo na ochlazování malých nevýkonných mikroprocesorů, se používá výroba frézováním. Žebra jsou vyfrézována z jednoho kusu materiálu. Tento způsob je dosti nákladný, časově i materiálově náročný. Vzniká při něm více odpadního materiálu. Frézováním se vytvoří větší mezery mezi žebry, proto jsou chladiče takto vyrobené použité na malé součástky. Lze jej použít také u vodního chlazení jako vodní bloky. U těchto chladičů je výhoda velké odolnosti vůči poškození [7].

Extrudování je dalším způsob výroby chladiče. Probíhá velmi jednoduše. Materiál se zahřeje na vysokou teplotu a poté se jednoduše vtlačí do formy, která je po chvíli ochlazena dusíkem, aby se neponičila forma a mohla se použít pro další výrobu. Ani tady není možno

vyrobit tenké žebrování, proto jsou chladiče vyrobené extrudováním prodávané jako levnější varianta a často jsou dodávány k novému CPU jako tzv. základní box chladič [7].



Obrázek 5: Chladič CPU s tenkými plechy [12]

Nejjednodušší varianta výroby pasivního chladiče pro počítačovou komponentu je sešroubování plechů. Díky tence vyrobeným plechům je hmotnost chladiče optimalizovaná pro větší rozměry. Je zde využito velkých ploch pro lepší odvod tepla. Výroba těchto chladičů není častá. Jsou náchylné na poškození sešroubovaných plechů. Zde může nastat problém při přepravě, kdy

může dojít k ohnutí části chladiče. Při jeho zpětném rovnání můžeme chladič znehodnotit ulomením plechu.

Posledním způsobem výroby pasivního chladiče je ohýbání plechu. K výrobě takového chladiče se použije jeden kus dlouhého plechu, který se zohýbá dle potřeby chladiče. Tento chladič se poté položí kolmo na ochlazovanou součástku, kam se na něj nejčastěji přidá ventilátor, aby urychlil ochlazování komponenty. Ventilátor ochlazuje kolmo komponentu či součástku.



Obrázek 6: Chladič CPU sešroubený [13]

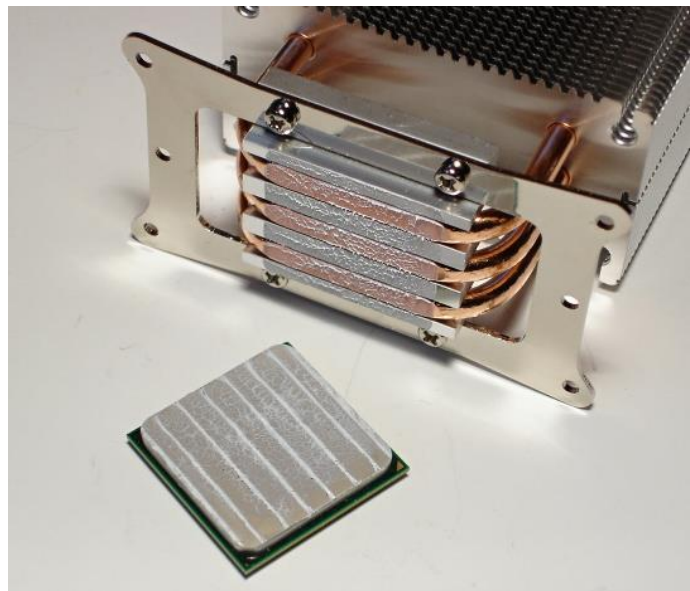
Pro správný odvod tepla z komponenty do pasivního chladiče je potřeba nanést teplovodivou pastu. I přes to, že máme velmi dobrý chladič, je nezbytné ji použít pro absolutní kontakt obou ploch mezi sebou. Bez ní by byl mezi plochami pouze vzduch, který je tepelným izolantem.



Obrázek 8: Pasivní chladič vyrobený ohýbáním plechu [11]

Teplovodivé jínak zvané chladicí pasty se dělí podle složení na silikonové, keramické, stříbrné a měděné. Mezi nejpoužívanější patří stříbrná. Při vybírání chladicí pasty dbáme na její co nejmenší elektrickou vodivost, protože přichází do kontaktu s vodivými spoji, jako jsou kondenzátory, odpory popřípadě jádro. Pasta by měla být nanášena v menší vrstvě, aby při zahřátí

komponenty nezatekla do vodivých spojů a neudělala je nevodivými, nebo naopak by způsobila zkrat. Při její aplikaci je nutné mít obě styčné plochy naprosto čisté a odmaštěné. Nejlépe pokud vyčistíme povrchy izopropylalkoholem. Pastu nanášíme vždy na menší plochu, a rozetřeme nejlépe pomocí stěrky, popřípadě nataženým igelitovým sáčkem přes prst. Tato volba je ovšem velmi amatérská a způsobí nerovnost a nepravidelnost nanesené vrstvy.



Obrázek 7: Chladič a procesor s nanesenou vrstvou chladicí pasty [14]

2.4.2 PROUDÍCÍ VZDUCH (AKTIVNÍ CHLAZENÍ)

Do aktivního chlazení, jínak zvané chlazení proudícím vzduchem, patří ventilátory. V minulosti nebyly sestavy tak výkonné jako dnes, proto se v počítači nacházel většinou jen jeden ventilátor, který sloužil k obměně vzduchu a nacházel se v napájecím zdroji. Dnes už má ventilátor dvě funkce. Nemá na starosti jen obměnu vzduchu v počítačové skříni, ale ochlazuje také pasivní chladič.

Základem kvalitního ventilátoru je vhodné zpracování, zakřivení lopatek, pomalé otáčky a elektronika. To vše má vliv na jeho chladicí vlastnosti a hlučnost, kterou dnes řeší mnoho uživatelů. Ventilátory mají několik typů ložisek, od nich se odvíjí jejich cenová relace a životnost.



Obrázek 9: Ventilátor s kluzným ložiskem [15]

Nejčastějším typem jsou kluzná ložiska. Rotor je otáčející se část s lopatkami, mající na sobě osu vsazenou do kluzného ložiska (stator). Prostor je vyplněn vazelínou, po které ventilátor klouže. Není zde hermeticky uzavřený prostor, nemůžeme tedy zaručit čistotu. Do míst s vazelínou se postupem času vnikne prach, kde díky němu začne vznikat větší odpor při rotaci. Vazelína po dobu používání vysychá, poškodí ložisko a ventilátor začne vykazovat problémy. Kvalita na úkor ceny ventilátoru se projeví při výrobě, kde se musí vyvažovat vrtule pomocí drátu vlisovaného vedle magnetu rotoru. Ventilátory s kluznými ložisky jsou stavěny na teploty do 40°C. Pokud se teploty pohybují výše, vazelína se stává mazlavější,



Obrázek 10: Ventilátor s kuličkovým ložiskem [15]

rychleji uniká a životnost ventilátoru klesá. I přes to, že jsou ventilátory s kluznými ložisky tiché, jejich životnost je nízká stejně jako jejich cena.

Ventilátory s kuličkovými ložisky obsahují dvě uzavřená ložiska s vazelínou a kuličkami. Levné varianty jsou slyšitelné použitím nekvalitních ložisek z měkkého materiálu, do kterého se brzy vytvoří výbrusy a zvýší se tím jejich hlučnost v lepším případě. V horším případě se ventilátor doslova zasekne. Pokud zvolíme varianty od výrobců specializujících se přímo na ventilátory, najdeme takové, které nejsou téměř slyšitelné a jsou tišší než kluzná ložiska. Ventilátory s kuličkovým ložiskem jsou stavěné na větší zátěž, vydrží daleko více než jejich kluzná varianta a proto se používají například do serverů, nebo počítačů s dlouhodobým provozem. Kluzný ventilátor se při dlouhém používání, neudržování zanesou prachem a zastaví na rozdíl od ventilátoru kuličkového, který bude pouze hlučnější.

Magnetické ventilátory jsou jedny z dalších variant jako ventilátor s kluzným ložiskem, odlišnost je v uložení rotoru. Nedochozí v něm k přímému kontaktu hřídele a ložiska. Je zde využito několika na sebe působících magnetických toků v úhlu 90 stupňů. Magnety umístěné v lopatkách vytvářejí vertikální magnetické síly a magnet umístěný pod osou vytvářející horizontální magnetické pole zajišťuje nevypadnutí ventilátoru při jeho otáčení a bezkontaktního pohybu osy a ložiska. U těchto ventilátorů je zaručena dlouhá životnost, nezanášejí se díky prachovému víku a neopotřebovávají. Technologie těchto ventilátorů je teprve na svém počátku.

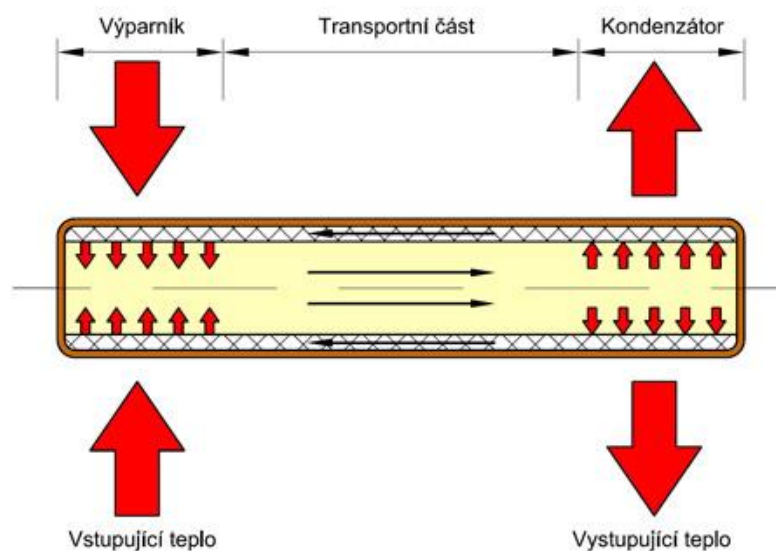
U ventilátorů bychom si měli dát pozor při jejich pořízení na hlučnost, která by optimálně měla být do 25dB. Ventilátory s hlučností více než 25dB mohou být při dlouhodobější práci nepříjemné díky jejich zvýšené hlučnosti. Dalším důležitou vlastností je PWM a RPM. PWM – Pulse Width Modulation znamená v překladu pulzně šířková modulace. Pulsně šířková modulace určuje maximální otáčky ventilátoru, při jeho odpojení ventilátor využívá své maximální otáčky. RPM je z anglického překladu Revolutions Per Minute zkratka pro otáčky za minutu. Dnešní základní desky mají možnost si sami regulovat otáčky ventilátoru. Pokud ventilátor nemá regulaci otáček, můžeme si otáčky snížit sami přidáním odpovídajícího odporu, nebo koupí redukce, která je připravena pro snížení otáček ventilátoru, popřípadě existují ruční regulátory otáček na přední panel počítače.

Standardní otáčky běžných ventilátorů jsou do 2500 otáček za minutu. Nalezneme na trhu i ventilátory se 4000 – 10000 RPM. Tyto ventilátory jsou použitelné spíše do serverů, popřípadě počítačů, které potřebují dlouhodobé chlazení. Jejich nevýhoda je větší hlučnost, proto je nalezneme nejčastěji v serverech. Ventilátor vybíráme nejen podle parametrů, ale také podle vzhledu. Lopatky by neměly být ostré, ba naopak, co nejkulatější. Dále vybíráme podle velikosti. Čím větší ventilátor, tím větší průtok vzduchu, menší otáčky a menší hluk.

Při jeho montáži ať už na pasivní chladič nebo do počítačové skříně bychom měli dbát na jeho správné otočení s ohledem na směr proudění vzduchu. Zda chceme vzduch z dané části vytahovat a nebo komponenty ochlazovat. Navržené chlazení počítačové skříně je základní stavební jednotkou počítače. Chlazení má největší vliv na životnost komponent.

2.4.3 HEATPIPE

Rostoucí pracovní frekvence CPU má za příčinu vyšší spotřebu při zátěži, spolu s tím spojené zvyšující se odpadní teplo, které součástky vyzařují. Pasivní chladiče byly nahrazeny aktivními, kde bohužel i aktivní chladiče dosahují svých maximálních výkonů a jsou nedostačujícími. Proto se hledala možnost, jakým způsobem odpadní teplo rychleji odvést. Řešením tohoto problému může být měděná hermeticky uzavřená trubička s pórovitou, síťovitou nebo houbovitou strukturou na vnitřních stěnách. V této trubičce je deionizovaná voda nebo alkohol, popřípadě jiná kapalina a vakuum.



Obrázek 11: Princip heatpipe trubičky [16]

Princip heatpipe trubičky je jednoduchý. Při ohřátí jednoho konce se kapalina začne vypařovat a přesouvat jako plyn do chladnějšího konce, na tomto místě se na stěnách ochladí (vysráží) a putuje po nich zpět do horkého místa. Tímto způsobem to probíhá stále dokola. Odvod tepla je velmi vysoký. Heatpipe má větší vodivost až několiksetkrát oproti klasické měděné trubičce, ať už prázdné či plné. Přenos vodní páry zpět na kapalinu se přibližuje rychlosti zvuku. Nejjednodušeji to můžeme otestovat pokusem, který je dost často uváděn pro porovnání klasické měděné trubičky a heatpipe. Stačí vzít tuto trubičku a ponořit ji do horké vody. Sami bychom viděli, jak rychle se dokáží konce ohřát na stejnou teplotu. V mém případě test probíhal otestováním pomocí nepoškozené trubičky, kterou jsem následně porušil rozstříhnutím. Rozdíl byl okamžitý, poškozená trubička se ohřívala na konci horkou vodu pomaleji, než „zdravá“ heatpipe trubička. Samotný heatpipe se chová tedy jako přepravník tepla, nikoliv jako chladič, proto musí být opatřen nejlépe žebrováním, které je na trubičce nalisované a pro rychlejší efekt ochlazení se může použít ventilátor. Často je těchto heatpipe trubiček použito několik, aby ochlazovaná součástka měla co největší efekt při své vysoké spotřebě a byla dostatečně ochlazována.



Obrázek 12: Chladič grafické karty s technologií heatpipe [18]

Samotná poloha heatpipe může být jakákoliv, efekt se nemění. Musíme být opatrní, abychom samotný heatpipe na chladiči nijak neohýbali, nebo nepoškodili. Při ohybu klesá tepelná vodivost, popřípadě může dojít k mechanickému poškození trubičky [7].



Obrázek 13: Využití několika heatpipe v notebooku [17]

Heatpipe technologie se využívá nejen u chladičů pro stolní počítače, ale také u notebooků, kde je málo místa v oblasti procesoru, nelze zde proto použít masivní chladič. Blok na procesoru je tedy pomocí heatpipe vyveden většinou ještě přes chipset, popřípadě grafickou kartu na nejchladnější místo v notebooku, kde je pasivní chladič s ventilátorem.

Ten odvádí teplo z notebooku ven. Pokud je GPU⁴ výkonnější, má svůj vlastní heatpipe vyvedený k ventilátoru s chladičem.

2.4.4 VODNÍ CHLAZENÍ

Vodní chlazení je stále populárnější způsob chlazení počítače. Samotné vodní chlazení má až 25x lepší účinnost oproti chlazení vzduchem [19]. Princip je podobný jako heatpipe, proudící kapalina odvádí teplo z komponenty. Vodní chlazení má své klady i zápory stejně jako ostatní způsoby chlazení. Za vodní chlazení považujeme už samotný blok na procesoru. Samotný vodní chladič na CPU obsahuje čerpadlo umístěné přímo na procesoru a radiátor – žebrování, přes které je kapalina ochlazována. Na radiátor je možné přidat přídatné ventilátory pro lepší chlazení kapaliny.

Princip vodního chlazení je velice jednoduchý a využívá se nejen v informatice. Na komponenty vydávající teplo jsou nainstalovány vodní bloky. Ty jsou propojeny hadicemi dále připojených do radiátoru (chladiče) z něho do expanzní nádoby (nádrž na kapalinu) umístěné nejčastěji nad čerpadlem a dále do samotného čerpadla. Celá tato soustava tvoří okruh, ve kterém proudí pod tlakem voda popřípadě jiná kapalina ochlazující komponenty v počítači. Vlastnosti a funkčnost konkrétních komponent vodního chlazení jsou popsány níže.

⁴ GPU – Anglická zkratka Graphics Processor Unit – grafický procesor na grafické kartě



Obrázek 14: Princip vodního chlazení [20]

Vodní čerpadlo

Srdcem vodního chlazení je vodní čerpadlo. Komponenta, která zajišťuje pohyb vody v celé soustavě. Má velký vliv na účinnost a výkonnost celé soustavy vodního chlazení a také na hlučnost. Vodních čerpadel je několik typů.

Ponorné čerpadlo můžeme ponořit do nádoby s kapalinou ochlazující celou soustavu. Voda pohltí velkou část hluku a vibrací vytvářejících čerpadlem. Díky ponoření, je čerpadlo ochlazováno okolní kapalinou. Umístění čerpadla v expanzní nádobě, není nutné řešit zavodnění celé soustavy. Soustava sama čerpá vodu a odvzdušňuje se, uživatel pouze hlídá množství kapaliny v expanzní nádobě. Nevýhoda je nutnost větší expanzní nádoby, ve které je čerpadlo umístěno a díky jeho samotného ochlazování má kapalina vyšší teplotu.



Obrázek 15: Ponorné vodní čerpadlo [21]

Průtokové čerpadlo má dva otvory a to pro přítok a odtok kapaliny. Čerpadlo díky umístění mimo samotnou kapalinu je hlučnější. Jednou velkou nevýhodou je první spuštění, kde musí být čerpadlo zavodněno, jinak nebude čerpat. Doporučení je umístit ho tedy za expanzní nádobu, kde do něj proudí voda přímo z nádoby a není před ním radiátor, kde by mohla být bublina, která při nasátí dostane čerpadlo do stavu, kdy nebude čerpat vodu a poběží naprázdno.

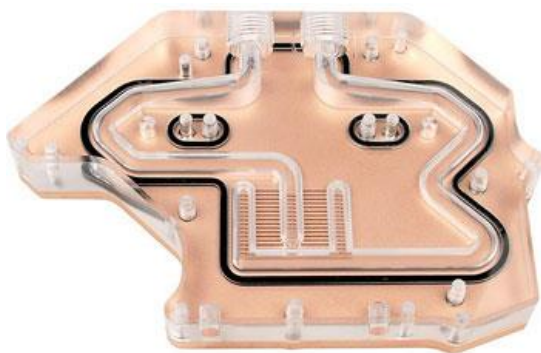


Obrázek 16: Průtokové vodní čerpadlo [22]

Výkon je také důležitým aspektem. U čerpadla nás bude zajímat kolik litrů je schopno čerpat za hodinu a do jaké výšky je schopno kapalinu vytlačit. Je rozdíl mít chlazení počítače pod stolem a skříň na stole, nebo mít čerpadlo s expanzní nádobou umístěno přímo v počítačové skříni. Počet litrů za hodinu je důležitý z důvodu průtoku. Pokud budeme mít příliš výkonné čerpadlo, nedokáže voda ochladit dané komponenty, pomalá čerpadla naopak neodvedou potřebnou část tepla z ochlazované komponenty. Ideálním průtokem jsou čerpadla mezi 300 až 800 litry za hodinu [19].

Vodní bloky

Vodní blok instalujeme přímo na CPU nebo grafický čip. Odvádí nám teplo přímo z komponenty do své konstrukce, kterou protéká kapalina ochlazující vodní blok. Mezi komponentu a vodní blok používáme také teplovodivou pastu pro snadnější přenos tepla. Blok má na sobě vstupní a výstupní otvor pro kapalinu. Vodními bloky můžeme ochlazovat CPU, grafický čip, počítačový zdroj, pevný disk, operační paměti a čipovou sadu. Blok pro každou komponentu se liší, proto bychom měli dbát pozornosti při jeho výběru.



Obrázek 17: Vodní blok pro grafickou kartu [19]

Expanzní nádoba

Nádoba sloužící jako zásobník vody. Velikost nádoby má vliv na teplotu kapaliny v ní. Čím máme větší zásobník, tím méně se voda v soustavě zahřívá. Expanzní nádoba slouží také k doplňování kapaliny, popřípadě jejímu odvodu. Vzduchové bubliny se udržují v expanzní nádobě a nemají vliv na vodní chlazení. Nádoba není nutností soustavy vodního chlazení. Je ovšem vhodná pro kontrolu kapaliny v soustavě a jako zásobník vody. Expanzní nádobu je vhodné umístit nad vodní čerpadlo, aby zajišťovala přísun ochlazené kapaliny a zároveň zabránila zavzdušnění.



Obrázek 18: Expanzní nádoba [23]

Radiátor

Radiátor slouží k ochlazování kapaliny odvádějící teplo z komponent. Je postaven pro jeden až čtyři ventilátory nejčastěji o rozměrech 12 x 12cm. Radiátor má na sobě žebrování, přes které prohání ventilátory chladný vzduch pro snížení teploty kapaliny. Složení radiátoru je obdobné jako heatpipe chladič. Jsou zde měděné nebo hliníkové trubky, na kterých je navařeno několik plechů z hliníku sloužící k odvodu tepla. Žebrování z hliníku je použito z důvodu úspor nákladů při výrobě. Použití radiátoru bez ventilátorů není vyvráceno, ovšem toto použití je vhodné pouze pro nevýkonné soustavy. Výrobce doporučují ventilátory používat, hluk není nikdy takový, jako u běžného ventilátorů v počítači. Čím více jich máme, tím je počet otáček nižší. Ventilátory na radiátory jsou dimenzovány na 1000 otáček za minutu, proto není jejich běh téměř slyšitelný.



Obrázek 19: Radiátor s přípravou pro 3 ventilátory 12 x 12cm [23]

Hadice

Silikonové hadice slouží k propojení celé soustavy. Silikonové díky jejich snadné ohebnosti a jednoduché manipulaci. Jedna z nevýhod je vypařování vody přes silikon. Existují i PVC hadice, nejsou příliš doporučované z důvodu tvrdnutí po delší době používání a manipulace s nimi není nejjednodušší, často dochází k jejich zlomení. Při koupi máme možnosti velké škály barev, jediné kde je zapotřebí být opatrní je u průměru, který by měl být stejný jako vyústění čerpadla a ostatních prvků vodního chlazení.



Obrázek 20: Hadice vhodná pro spojení komponent vodního chlazení [23]

Spojovací materiál – fitinky, spojky

Pro spojení hadice s komponentami slouží fitinky a spojky. Spojovací materiál se volí se stejným průměrem do celé soustavy. Podle něho se poté pořizuje hadice. Fitinky se šroubují do komponent, jako jsou vodní bloky, radiátory, chladiče a expanzní nádoby. Na ně se teprve nasadí hadice, která se utáhne spojkou, popřípadě pokud zvolíme dražší variantu fitinky, zajistíme nevyvléknutí hadice maticí dodávanou k fitince.



Obrázek 21: Vlevo fitinka, uprostřed šroubovací spojka, vpravo fitinka s maticí [23]

2.4.5 KOMBINOVANÉ CHLAZENÍ

Kombinované chlazení je složený aktivní a pasivní chladič. Pomůžeme tak rychlejšímu odvodu odpadního tepla z pasivního chladiče tím, že na něj přidáme ventilátor umožňující proudění vzduchu v pasivním chladiči. U kombinovaného chladiče může být použito několik heatpipe trubiček odvádějících teplo směrem od zdroje tepla. Ventilátor umístěný na chladiči je připojen buďto přímo do základní desky nebo zdroj do počítače. Pokud ventilátor umožňuje funkci PWM, základní deska si tedy rychlost otáček reguluje sama. Tento typ chlazení má nejčastější užití. Najdeme ho, jak na CPU, tak na GPU. Pasivní chladič bývá uchycen dvěma způsoby, buďto zacvakávacími úchyty nebo pružinovým drátem či plíškem. Kombinovaný chladič je zapotřebí častěji čistit. Proudící vzduch mezi žebrováním způsobí větší zanášení prachem, pasivní chladič drží poté více tepla, než ventilátor dokáže odvézt, přehřívá se a komponentu nedokáže ochladit na potřebnou teplotu. Může to dojít až do takového stádia, kdy prach dokáže zastavit ventilátor, což směřuje k jeho spálení a zničení jak ventilátoru, tak ochlazované komponenty.

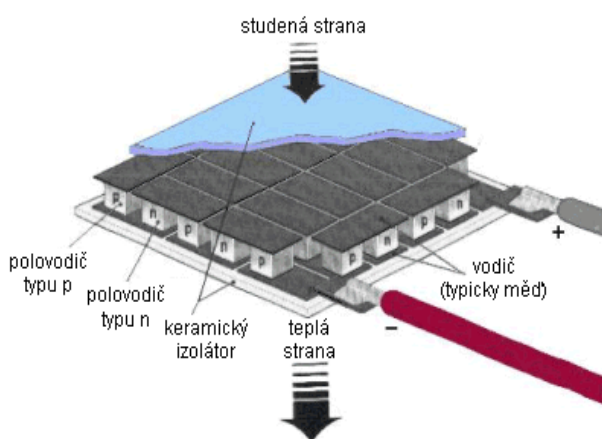


Obrázek 22: Masivní kombinovaný chladič CPU s použitím heatpipe [24]

2.4.6 ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY CHLAZENÍ

Peltiérův článek

Už o něco méně známý typ používání pro chlazení komponent v počítači, nejčastěji tedy CPU, se nazývá Peltiérův článek. Článek využívá Peltierova jevu. Je složen ze dvou odlišných kovů (nejčastěji vizmut a tellurid) [7]. Jakmile do článku přivedeme elektrický proud, je převáděn z jedné strany článku na druhou. Článek dokáže ochladit komponentu na nižší



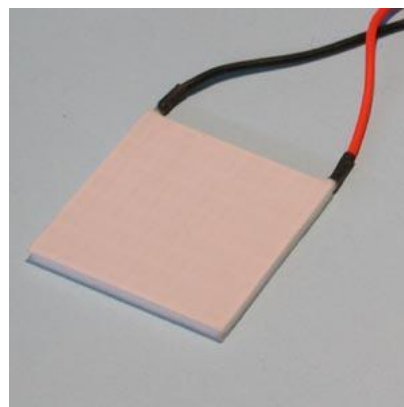
Obrázek 23: Peltiérův článek - složení [25]

teplotu než je okolní teplota vzduchu. Ovšem nevýhoda je kondenzace vodní páry vznikající díky rozdílu teplot okolního vzduchu a Peltiérova článku, další nevýhodou je velká spotřeba článku, kde se při jeho použití dostaneme minimálně na spotřebu 1,5x vyšší než má komponenta samotná [7]. Například budeme ochlazovat CPU se spotřebou 100W Peltiérovým článkem o spotřebě

150W a vodních chlazením o 20W. Dostaneme se tedy na 170 W, které ochlazují CPU. Peltiérův článek by měl mít tepelnou výkonnost vždy vyšší než ochlazovaná komponenta.

Pokud chceme dosáhnout dobrého chladicího výkonu, je zapotřebí k článku využít vodní chlazení, které bude dostatečně rychle odvádět teplo z článku a bude tak zabraňovat tvorbě kondenzace vodní páry.

Při montáži Peltiéřova článku musíme být opatrní na správné umístění strany chladicí a odvádějící teplo. Na obě strany se při montáži nanášíme chladicí pastu. Pokud



Peltiérův článek přestane fungovat, hrozí přehřátí ochlazované komponenty, která pokud nemá tepelnou ochranu, bude z velké pravděpodobnosti tepelně zničena. Obrázek 24: Peltiérův článek [25]

Kompresor

Chlazení počítače kompresorem je spíše pro příznivce taktování. Kompresorové chlazení má hned několik záporů. Pořizovací cena, která se pohybuje v několika desítkách tisíc korun, hlučnost, která se rovná hluku domácí lednice (cca 45dB) a posledním jsou vysoké provozní náklady. Při běžném provozu počítače se teploty pohybují kolem 40°C, kompresorové chlazení dokáže udělat takový rozdíl teplot, že je schopno dosáhnout snížení teploty až na -40°C, což už je ale mimo doporučenou pracovní teplotu většiny polovodičových součástek. Na úkor pořizovacích nákladů, spotřeby a hluku je tato metoda velmi účinná. Princip je jednoduchý, kompresor stlačí plyn do kapalné podoby, která poté proudí k ochlazované komponentě do výparníku, kde dojde k rozpínání a odpařování kapaliny, jež se odvádí zpět do kompresoru. Ke kompresoru je potřeba také výměník, přes který putuje plyn. Spuštění počítače není ovšem tak běžnou záležitostí, jak je nám známé. Při jeho spuštění se nejprve spustí kompresor, který doslova namrazí CPU na danou teplotu a až poté je puštěn samotný počítač. Start počítače se díky namrazení může protáhnout na několik minut.



Obrázek 25: Kompresorové chlazení chipsetu a CPU [26]

Akvarijní chlazení olejem

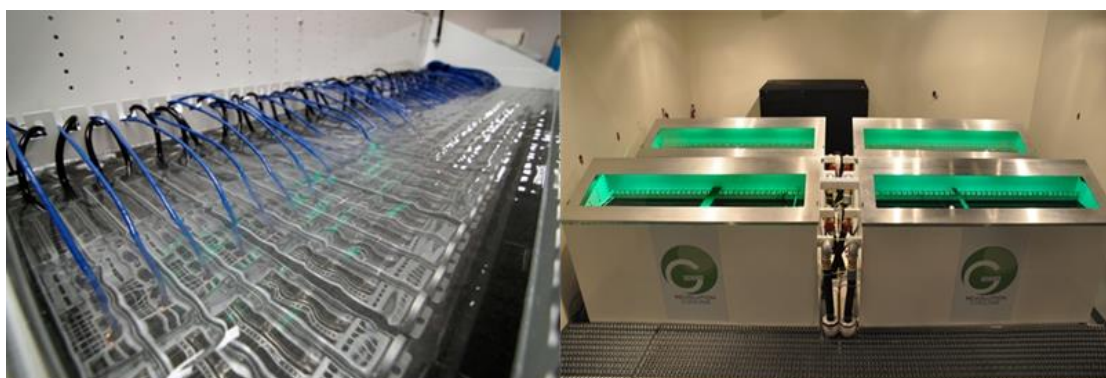
Velmi nezvyklý způsob chlazení je ponoření počítače do kapaliny. Do vody to ovšem být nemůže kvůli její vodivosti. Máme možnost použít silnou vrstvu laku a veškeré komponenty nalakovat. Bohužel nedokážeme se dostat na místa, kam by se voda dostala a v ten moment může dojít ke zkratu a zničení komponenty. Destilovaná voda není také nejvhodnější řešení, v počátku je sice nevodivá, ale po zahřátí se začnou ze základní desky uvolňovat minerály, soli a může zde opět dojít ke zkratu. Pokud chceme chladit počítač ponořený do kapaliny, nejjednodušší a ověřená zkušenost je ponořit jej do oleje. Olej dokáže ochladit komponenty lépe než vzduch. Má vyšší bod varu a jeho tepelná kapacita je 1200x vyšší než vzduch. Bohužel jednou a to asi největší nevýhodou je jeho zpětné ochlazování, pokud se bavíme o domácím ponoření počítače do nádoby plné oleje. Nejvíce používaným olejem je minerální. Jeho cena ovšem není nejnižší, na druhou stranu je průhledný, nemá žádné zabarvení. Je možné použít i klasický rostlinný olej, ale to jen z důvodu testování, popřípadě krátkodobého chlazení.

Všechny komponenty nemohou být ponořeny v oleji. Pevný disk nemůžeme do oleje ponořit z důvodu vyrovnávání tlaku v něm, který se vyrovnává přes malý otvor. Hlavy v pevném disku se vznášejí nad plotnami díky jejich rychlému otáčení. Proto pevné disky není vhodné ponořovat do kapaliny.



Obrázek 26: Počítač ponořený do akvária v rostliném oleji [27]

Společnost Green Revolution Cooling se specializuje na chlazení minerálním olejem. Jejím největším zákazníkem je společnost Intel. Dokáží teplotu na přístrojích udržovat do 40°C [28] a navíc spotřeba energie na chlazení, je daleko menší než u chlazení vzduchem, kde mají komponenty daleko vyšší teploty i přes klimatizované místnosti, kde bohužel nezabráníme prašnosti. V olejovém datacentru z velké části ano. Servery jsou ponořené do velkých uzavíratelných nádob, které pojmu až 42 serverů. Chlazením v takovémto množství serverů se dostanou v jedné soustavě 42 serverů na rozdílovou teplotu 1 stupně uvnitř serveru a v jeho krajních částech. U chlazení vzduchem jsou tyto teplotní rozdíly v desítkách stupňů. Olej v nádobách je ochlazován přes radiátor a neustále proudění oleje zajišťuje pumpa. Pevné disky jsou uloženy ve speciálních pouzdrech, kde se k nim nedostane olej. Green Revolution Cooling také poukazuje na velké snížení energie až o polovinu při nepoužití klimatizace a klasického chlazení.



Obrázek 27: Chlazení serverů Intel od společnosti Green Revolution Cooling v minerálním oleji [28]

2.5 CHLAZENÍ KOMPONENT

Jak už bylo psáno výše, je důležité udržovat a kontrolovat teplotu komponent v počítači. Nejen z důvodu nebezpečí jejich zničení či poškození, ale čím lépe budeme komponenty chladit, tím více prodloužíme jejich životnost a ušetříme tím i náklady na nákup dalších.

2.5.1 NENÁROČNÉ KOMPONENTY NA CHLAZENÍ

Pevný disk

Chlazení pevného disku bychom neměli podceňovat. Na této komponentě nám leží to nejdůležitější, s čím celou dobu při běhu počítače pracujeme. Každý výrobce pevného disku vede ke každému dokumentaci o provozních teplotách. Výrobci nejčastěji uvádí provozní teplotu mezi 0-60°C. Samotný pevný disk je uložen v kovovém obalu, který slouží k odvodu tepla, díky konstrukci není nutné zajišťovat jeho chlazení. Počítačové skříně jsou navrženy tak, aby bylo možné namontovat před pevné disky ventilátory, které je ochlazují proudícím vzduchem. Chladit pevné disky můžeme také pomocí boxů, do kterých disk umístíme. Montují se často do 5.25" pozice pod mechaniku. Mají na sobě malý ventilátor ochlazující box. Další možnost je využít chladiče s technologií heatpipe. Toto řešení je nejtišším možným řešením na trhu.

Operační paměť

Dnešní operační paměti typu DDR, DDR2 a DDR3 jsou o dosti výkonnější, než dříve používané SDRAM. Proto u některých typů výrobci dodávají pasivní chladič, ve kterém je paměť usazena. Jedná se většinou o paměti výkonnější, připravené pro taktování a experimenty. Paměti pro běžný kancelářský počítač není nutné chladit. Počítá se zde s ochlazováním od chladiče CPU, který paměti bude ofukovat. Ovšem pokud chceme provádět experimenty, je doporučeno využít pasivních chladičů, popřípadě pokud volíme vodní chlazení v počítači, existují vodní bloky pro paměti.

Základní deska

Komponenta zabírající v počítači největší plochu si i přes svou rozlohu vystačí s pasivním chlazením. Součástky nejvíce na ní produkující teplo jsou severní a jižní můstek. Tyto dvě součástky jsou chlazeny nejčastěji pasivním chladičem na starších základních deskách, na novějších je zde využito heatpipe trubiček v pasivním chladiči, pro lepší odvod odpadního

tepla. Náročnější uživatelé používají pro ochlazení severního můstku vodní bloky. Na základní desce jsou i další součástky jako kondenzátory, tranzistory apod. produkující teplo, ovšem ty není zpravidla potřeba chladit přímo. Stačí zajistit dostatečnou cirkulaci vzduchu v okolí těchto součástek. Základní deska na sobě má několik konektorů pro přídavné ventilátory. Musíme být opatrní s použitím rozložení ventilátorů v počítačové skříni, abychom nevytvořili vzduchové kapsy a nezpůsobili tím zhoršení cirkulace vzduchu a tím chlazení komponent. U základních desek se nám nabízí na trhu široká škála pasivních chladičů místo těch dodávaných od výrobce. Výměna záleží na uživateli, musí být ovšem opatrný při manipulaci s původním chladičem, který může být k čipu přilepen.

2.5.2 NÁROČNÉ KOMPONENTY NA CHLAZENÍ

Grafická karta

Grafické karty bývají největším problémem při chlazení. Jejich výkon se stále zvyšuje, paměti se zrychlují, čímž narůstá i jejich provozní teplota. Chlazení grafických karet je z velké většiny tvořeno velkým pasivním chladičem s heatpipe technologií a minimálně jedním ventilátorem. Pasivní chlazení odvádí teplo jak z grafického čipu, tak z pamětí. Výkonnější grafické karty jsou navrženy tak, že jsou tzv. dvoupozicové. Poznáme to podle její tloušťky, kde je na zadní strany počítačové skříně pod výstupními konektory monitoru zásepka s otvory pro vývod horkého vzduchu z grafické karty. U grafických karet je veliký teplotní rozdíl při porovnání použití vodního chlazení a klasického aktivního chladiče od výrobce. Teploty v klidovém stavu jsou nižší o 20°C a v zátěži dokáží být nižší až o 45°C. U grafických karet se často projevuje nesprávné chlazení, popřípadě neudržování čistého nezaprášeného chladiče. Problémy začínají artefakty na obrazovce a končí tím, že počítač zapnete, ale díky přehřátí grafického čipu obraz nenaběhne vůbec. Výkonné VGA⁵ mají na sobě aktivní chlazení až se 3 ventilátory, které při plném zatížení vydávají velký hluk, aby uchládily grafický čip a paměti.

Zdroj

Počítačový zdroj patří mezi náročněji chlazené komponenty. Pracuje s napětím 230V a mění jej do potřebných větví na 12V a 5V. Výrobce je dodává s ventilátory o rozměrech

⁵ VGA – Anglická zkratka Video Graphics Array – zkratka používaná pro zobrazovací zařízení počítače grafickou kartou

začínajících na 80mm až po 120mm. Ventilátory jsou regulovatelné a zastávají hned dvě funkce. Pokud máme starší typ skříně, kde máme zdroj ve vrchní části, ventilátor ve zdroj zastává funkci odsávací. Ze skříně odvádí horký vzduch přes součástky zdroje ven. Pro součástky ve zdroji je to větší zátěž, protože jsou ofukovány ohřátým vzduchem ze skříně počítače. Výrobci dnešních počítačových skříní toto změnili tím, že umístili zdroj do spodní části skříně ventilátorem směřovaným k zemi. Druhá funkce tohoto ventilátoru je plně využita v novějších skříních a to tak, že ochlazuje součástky ve zdroji nasátím studeného okolního vzduchu. Zdroje s pasivním chlazením jsou k dostání také, jejich výkon není takový, protože pasivní chlazení není schopno zdroj ochladit natolik, jako umístěný ventilátor ofukující vnitřní součástky. Pasivní část ve zdroji je vyvedena ven na zadní část, což není příliš estetické. I vodní bloky existují pro zdroje, ovšem cenová relace není zrovna přívětivá. Montují se přímo pod samotnou desku zdroje, na které jsou umístěné součástky. Dražší zdroje tzv. modulární mají výhodu možnosti odpojení nepotřebných větví, díky nimž poté ušetříte místo ve skříní počítače a umožníte tak lepší cirkulaci vzduchu.

Processor

Processor oproti grafické kartě vykonává výkon daleko vyšší, ovšem teploty oproti grafickému čipu potřebuje ke správné funkčnosti nižší. Doporučená teplota výrobce procesorů je do 60°C až 70°C, při vyšších teplotách se spouští ochranný režim, kde se automaticky sníží výkon procesoru a tím se snižuje jeho teplota. Kritické teploty se pohybují mezi 85-90 °C. Výrobce dodávaný box chladič je navržen tak, aby tyto teploty bez problémů zvládal uchládit a procesor neběžel tedy v režimu ochrany. O pasivním chladiči na procesor bychom neměli uvažovat, ani v případě těch opravdu rozměrově velkých. Základní deska má stále možnost při vyšší teplotě a použití aktivního chladiče s regulací otáček zvýšit otáčky, pro lepší ochlazení CPU. Jako u některých jmenovaných komponent i na procesor je možno namontovat vodní blok. Vodní blok patří k nejvýkonnějším a nejtišším možnostem chlazení v počítači. Bohužel za jeho výkonnost se zaplatí nemalá částka.

2.6 VHODNÉ CHLAZENÍ POČÍTAČE

2.6.1 CHLAZENÍ VZDUCHEM

Klasický, nejpoužívanější a nejlevnější způsob chlazení počítače. Každý uživatel ať už zkušený, nebo začátečník má nebo měl doma počítač chlazený vzduchem. Pokud stavíme nový počítač, na co bychom měli dbát velkou pozornost je vhodný výběr počítačové skříně. Pro někoho plní pouze estetický dojem, naopak jiní využijí svojí skříň pro dlouhodobý pokus a zkoumání, jak neoptimálněji chladit komponenty uvnitř. Někteří uživatelé dbají pouze na funkčnost samotného počítače a vzhled ani chlazení komponent neřeší. I přes sebelepší vnitřní chladiče můžete mít problém se špatnou cirkulací vzduchu. Důležitou roli v počítačové skříně zastává průtok vzduchu, nasávání vnějšího chladného vzduchu ochlazující komponenty a dále jeho vyústění ven z počítače. Důležitá je také velikost skříně, pokud stavíme výkonnější počítač, je dobré, aby nebyl v malé skříně. Čím je skříň pro výkonný počítač menší, tím budou komponenty hůře chlazeny a hrozí brzké přehřívání. Vhodné jsou otvory pro ventilátory větší než 80 x 80 mm. Optimální velikost používání dnešních ventilátorů je 120 x 120mm, které mají větší průtok a menší otáčky. Díky jejich větší velikosti jsou tiché. Umístění ventilátorů je vhodné do přední části skříně. V této pozici jsou umístěny pevné disky. Ventilátory plní hned dva účely, nasávají do skříně okolní vzduch a zároveň chladí pevné disky. Další důležitý ventilátor je v zadní části skříně, kde ze skříně odvádí komponentami vyprodukované teplo. Přídavný ventilátor je u některých počítačových skříních v bočnici. Pokud ho použijeme, je vhodné využít tzv. tunel, který se umísťuje na procesor s box chladičem. Tento ventilátor nasává vzduch pro samotný procesor a lépe ho tím chladí. Pokud nemáme box chladič, ale chladič dokupovaný, směřujeme jeho výfuk k zadnímu ventilátoru. U starších typů skříní, kde je zdroj umístěn v horní části, není potřeba umísťovat více ventilátorů.



Obrázek 28: Ukázka správného proudění vzduchu v počítačové skříni [29]

U novějších počítačových skříní je zdroj umístěn ve spodní části počítače, kde neslouží k odvodu teplého vzduchu ze skříně, ale pouze ochlazuje sám sebe okolním vzduchem. Při prvotní montáži bychom měli dbát také na kabeláž. Správné vyvázání kabelů umožní lepší proudění vzduchu, než kdybychom nechali kabely volně.

Prach je největší nepřítelem počítače. I tomuto při stavbě počítače můžeme částečně předejít a prašnost uvnitř omezit. Před nasávající ventilátory nainstalujeme filtry zachycující prach, popřípadě při výběru počítačové skříně dbáme na bočnici. Pokud nebudeme používat tunel pro procesor, je vhodné vybrat skříň bez otvorů v bočnici. Počítač z přední části často vysáváme a o vnitřní komponenty dbáme minimálně jednou ročně buďto jejich vysátím od prachu nebo v lepším případě vyfoukáním prachu.

Správné proudění v počítačové skříni začíná na přední části počítačové skříně. Přední ventilátor nasává okolní chladnější vzduch, kterým ochlazuje pevné disky. Vzduch je dále směřovaný ke grafické kartě a procesoru. Od těchto komponent odchází ven z počítače zadním ventilátorem, popřípadě zdroj umístěným v horní části skříně. Vyhneme se

přidávání přebytečných ventilátorů do počítačové skříně. Změníme tím tok vzduchu, kde nám díky přebytečnému ventilátoru mohou vznikat větrné víry.

2.6.2 VODNÍ CHLAZENÍ

Vzduchové chlazení je nejlevnější variantou chlazení počítače. Ovšem pokud zvolíme volbu vodního chlazení, máme jistotu o třetinu až polovinu nižší teploty na ochlazovaných komponentách. Musíme ovšem počítat s náročnější údržbou a opatrnosti při montáži. Pokud bude montáž prováděná prvně, je doporučeno předem prokonzultovat a nastudovat větší množství návodů pro doporučení instalace.



Doporučení montáže je začít od radiátoru do vrchní části skříně počítače, popřípadě mimo skřín. Dnes už je méně časté použití radiátoru mimo skřín, ovšem dnešní i sebelevnější počítačové skříně jsou vybaveny otvory pro hadice na vodní chlazení. Přes tyto otvory můžeme hadice vytáhnout ven a nemusíme mít strach, že by nastalo jejich zlomení, popřípadě proříznutí. Po umístění radiátoru je vhodné namontovat příslušné bloky na komponenty, které chceme chladit. Paměti, procesor, grafická karta popřípadě chipset.

Poté upevníme expanzní nádobu s čerpadlem a jako poslední připojíme hadice, které si zkrátíme na příslušnou délku. Hadice upevníme pomocí spojek, aby se po čase nevypojili. Kapalina v okruhu by měla proudit od nejvyššího místa a to od zdroje, popřípadě pevného disku dále k procesoru, chipsetu, grafické kartě a dále do radiátoru, který kapalinu ochlazuje. Za radiátorem by měla být nainstalována expanzní nádoba, která bude zadržovat vodu a bude umístěna nad čerpadlem. Čerpadlo by nikdy nemělo být umístěno za radiátorem, protože kapalina s vyšší teplotou zkracuje jeho životnost. Pokud budeme dbát na hlučnost, je vhodnější varianta expanzní nádoba s čerpadlem ponořeným uvnitř. V tomto případě nám odpadne starost s umístěním čerpadla. Do expanzní nádoby nalijeme kapalinu a provádíme první test okruhu.

Testování okruhu je vhodné přes sepnutí zdroje. Před tímto sepnutím položíme pod vodní bloky ubrousky, abychom viděli, kde budeme mít problém s netěsností. Sepnutí provedeme spojením 16 a 17 pinu, který si nalezneme v manuálu ke zdroji přiloženému. Tímto se nám sepne zdroj a zároveň i čerpadlo. První sepnutí nám spotřebuje velkou část kapaliny v expanzní nádobě. Proto by sepnutí mělo trvat pouze několik sekund. Po vypnutí okruhu doplníme expanzní nádobu o další kapalinu a celý tento postup provádíme do té doby, doku se z expanzní nádoby přestane ztrácet kapalina. V momentu, kdy se přestane ztrácet kapalina, měli bychom nechat běžet okruh bez počítače 24 hodin a průběžně kontrolovat, zda nám nikde kapalina neuniká. Pokud celý test dopadl v pořádku, počítač je připraven na první spuštění s vodním chlazením.

Údržba vodního chlazení by měla probíhat alespoň jednou měsíčně, kde bychom měli kontrolovat těsnost celého vodního okruhu a množství kapaliny v expanzní nádobě. Po dvou až třech letech bychom měli celý okruh rozebrat a vyčistit. Každý blok bychom měli kompletně rozebrat a zkontrolovat, zda v něm nevzniká galvanická koroze.

Galvanická koroze je dlouho probírané téma při sestavování vodního chlazení. Tento problém se objevuje pouze v případě, že v chladicím systému je blok, popřípadě jiná součást z hliníku. Zde dochází k problému vzniku galvanické koroze, která může mít za následek nejen poškození celé chladicí soustavy, ale zničení komponent v počítači a v neposledním případě ohrožuje i člověka na životě. Pokud použijeme měděné komponenty a k tomu

plastové, silikonové, popřípadě jiné hadice, galvanická koroze nebude vznikat. Doporučení, používejte v systému vodního chlazení vyrobené bloky z jednoho kovu, nejlépe z mědi.



Obrázek 30: Galvanická koroze způsobená hliníkem ve vodním okruhu [31]

2.7 BUDOUCNOST CHLAZENÍ

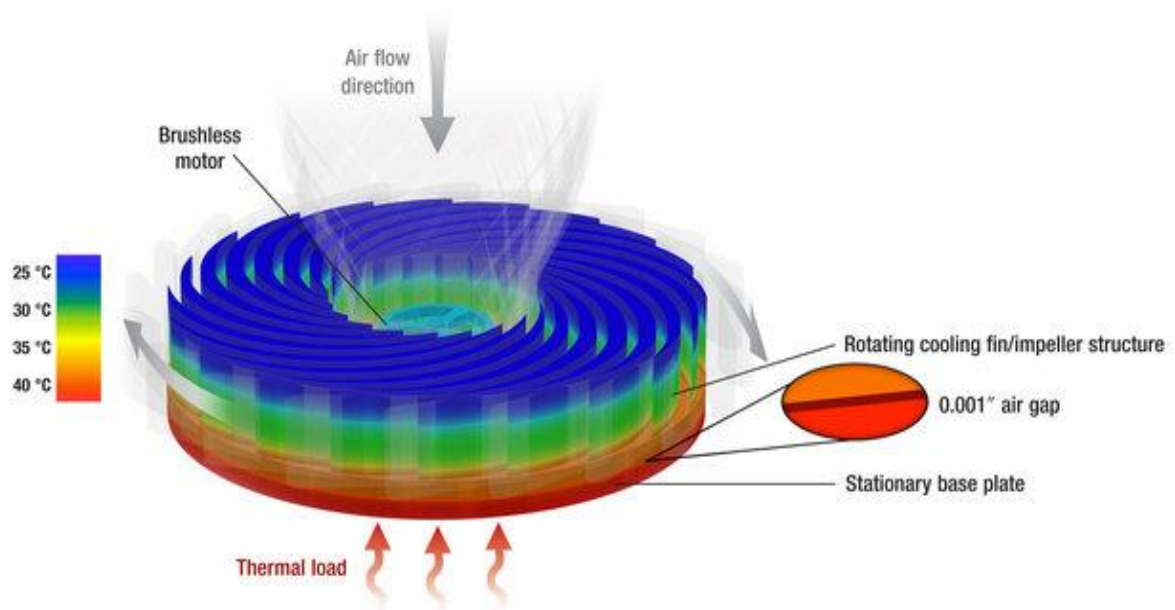
Otázku jaký bude za rok trend chlazení, je těžké zodpovědět. Rok od roku se zdvojnásobuje počet tranzistorů používaných v počítači. Vzárustem počtu součástek se zvyšuje spotřeba energie a vzniká více odpadního tepla. S příchodem novějších procesorů, se snaží snižovat odpadní teplo, ale zvyšující výkon to bohužel nedovoluje.

Zajímavou možností, jak chladit například grafické karty, přinesla společnost NanoCoolers, která využila chlazení tekutým kovem. Tento experiment bohužel nedošel daleko a do prodeje se tato technologie nedostala. Dostalo se výsledků, že je pouze o 5% [7] lepší než vodní chlazení. Cena je několikrát vyšší než samotné vodní chlazení. Výrobce uvádí, že princip je stejný jako u vodního chlazení, pouze tekutina je sloučenina prvků galia, india a cínové tříště.

Piezoelektrický vějíř je možnost pro budoucí chlazení nevykonných notebooků. Na pružné destičce jsou nanoseny piezoelektrické části, na něž je přivedeno střídavé napětí. Piezoelektrické části reagují na střídavý proud rozpínáním a smrštěním. Tento jev rozpohybuje pružnou destičku nahoru a dolů a rozpohybuje tímto vzduch. O aktuálním použití pro chlazení komponent se stále spekuluje, protože výkon ventilátoru je stále větší

a vějíře by se tak použili jako součást při chlazení ventilátorem. Výhoda toho zařízení je nenáchylnost na poškození a prach.

Rotující kov, dokáže chladit tišeji než klasický ventilátor. Tato technologie pocházející z Kalifornie čeká pouze na výrobce, který si ji licencuje. Jedná se o pevnou podložku, která je napevno přichycena ke komponentě vydávající teplo. Na této podložce je umístěno rotující žebrování. Od základny jej dělí velice tenká vrstva vzduch. Vzduch ohřívající se od podložky mezi žebrováním je hnán ven odstředivým efektem pomocí rotorové části – točícího se kovového žebrování. Kovového z důvodu větší účinnosti. Rotor se otáčí několika tisíci otáčkami za minutu. Jeho výroba není náročná a drahá. V budoucnu je dosti pravděpodobné, že nahradí ventilátorové chlazení v počítačích. Velké uplatnění se směřuje do datových center.



Obrázek 31: Nákres odváděného tepla z rotoru [32]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Chlazení procesoru je u počítačů standardem. Pokud počítač kupujeme sestavený, má na sobě procesor většinou box chladič dodávaný samotným výrobcem (např. Intel nebo AMD). Při vlastním sestavování počítače můžeme uvažovat o několika variantách. Použít chladič pro procesor dodávaný výrobcem, nebo můžeme samostatně dokoupit chladič pasivní, aktivní nebo vodní. Chladič od výrobce není vždy stavěn na zvýšené taktování procesoru. Je dimenzován pro běžné použití a počítá s tím, že i nízké taktování procesoru snese. Pokud plánujeme procesor přetaktovat ať už zvyšováním frekvence anebo napájecího napětí, vždy je vhodné volit chladič jiný, než standardně dodávaný výrobcem. Z velké většiny tyto chladiče zajistí nižší teploty procesoru než dodávaný box chladič. Při výběru chladiče je nutné dbát na správnou patici, kterou má procesor. Srovnání teplot vodního a box chlazení je popsáno níže.

Praktická část je rozdělena do dvou kapitol. V první je otestováno a porovnáno vodní chlazení s klasickým aktivním dodávaným výrobcem. Druhá kapitola této části práce je zaměřena na experiment, kde jsou porovnávány teploty při chlazení počítače vzduchem a transformátorovým olejem.

3.1 VODNÍ CHLAZENÍ VS. AKTIVNÍ CHLAZENÍ PROCESORU

Hlavním úkolem tohoto pokusu bylo zjištění rozdílu teplot procesoru při použití box chladiče dodávaného výrobcem a vodního chlazení. Procesor byl otestován jak v klidovém stavu, tak při zatížení. Bylo provedeno i taktování procesoru, kde se rozdíly teplot projeví více, než při jeho základní frekvenci.

Testovaná sestava:

Procesor: Intel Core 2 Duo E8400 3.0 GHz

Operační paměť: 2x Aeneon X-Tune DDR2 1066MHz CL5 1GB

Základní deska: Gigabyte GA-EP45-DS3R (rev. 1.0)

Grafická karta: Leadtek PX9600GT 512MB

Napájecí zdroj: OCZ ZT 650W

Vodní chlazení: Cooler Master 240M

Operační systém: Windows 7 Professional



Obrázek 32: Testovaná sestava s box chladičem

Způsob a podmínky měření

Měření probíhalo ve dvou stavech. Počítač běžel přibližně hodinu času, kdy na něm probíhala běžná práce, psaní dokumentu ve Wordu, prohlížení stránek na internetu. Zhruba po hodině klidového režimu započal první test, měření teplot při použití box chladiče.

Zátěž procesoru probíhala pomocí programu OCCT 4.4.1. Program vytěžuje procesor způsobem odeslání velkého balíku dat pro zpracování. S procesorem byly testovány i operační paměti. V programu OCCT bylo nastaveno 90% vytížení pamětí, zbylých 10% bylo ponecháno systému. Paměti byly testovány z důvodu stability systému. Tento test je důležitý převážně po taktování procesoru zvyšováním frekvence. Při vytížení pamětí vyšší frekvencí může dojít k chybě česky zvané „modrá smrt“, kde zjistíme, že frekvence pro paměti je příliš vysoká a je nutné ji snížit. Pro parametry procesoru byl použit program CPU-Z, který o procesoru vypíše veškeré informace, jako jsou frekvence CPU, sběrnic, popřípadě napětí a další informace. Všechny výše zmíněné programy použité při získávání výsledků jsou volně dostupné.

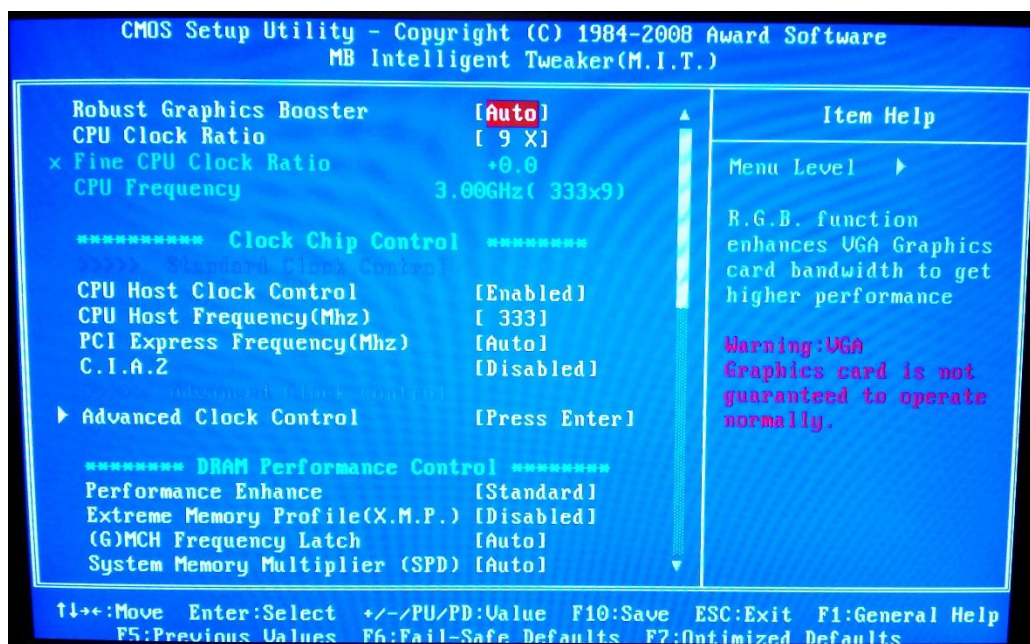
Teploty procesoru byly měřeny pouze softwarově, z důvodu nemožnosti umístění čidla přímo na procesor. Pokud bychom umístili čidlo přímo na procesor, chladič nebude dobře

přiléhat a mohlo by dojít k trvalému poškození procesoru. Při umístění čidla na chladič procesoru byly zjištěny hodnoty ovlivněných dané přímým ofukem ventilátoru.

Test stability procesoru a systému vždy probíhal přibližně 2 hodiny. Pro měření teplot v počítači, byl použit program Open Hardware Monitor, který snímal nejen teploty procesoru, ale také jeho jader, teplotu v počítači, disku a mnoho dalších parametrů, jež jsou vidět na snímcích v Příloze 1.

Naměřené hodnoty

Při měření teploty procesoru v klidovém stavu, byl rozptýl teplot pohybující se mezi 24°C až 31°C a otáčky ventilátoru od 1200ot/min do 1500ot/min. Frekvence byla základní 3,0GHz a sběrnice procesoru 333 MHz (obr. 33). Teplota základní desky byla 40°C.



Obrázek 33: : BIOS - základní frekvence procesoru a sběrnice

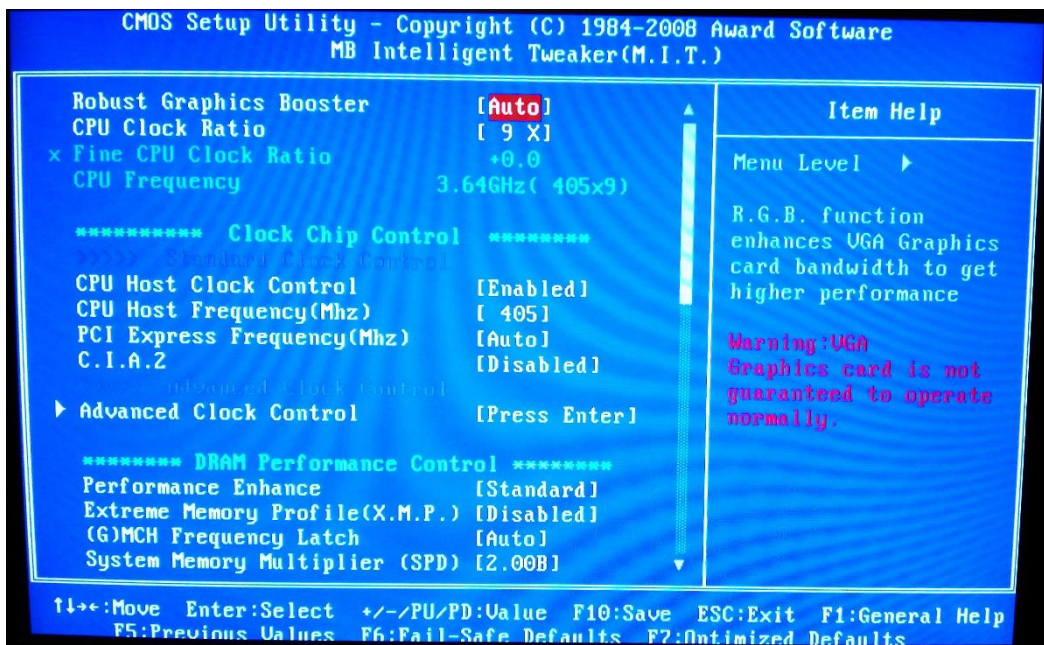
Při plném zatížení se teplota procesoru vyšplhala na 52°C, otáčky ventilátoru umístěném na chladiči procesoru byly 2058ot/min. Ventilátor i při vyšších otáčkách byl poměrně tichý. Systém po dvou hodinách zatížení nijak nekolaboval, což při nominálních frekvencích nebyl ani důvod. Teplota základní desky se zvýšila z původních 40°C na 42°C. Měření probíhalo v uzavřené počítačové skříni, nikoliv s otevřenou bočnicí.

Po provedení testu základní frekvence procesoru v klidovém stavu a při zatížení byl chladič otestován také při taktování procesoru. Taktování probíhalo pouze zvyšováním frekvence

procesoru, s čímž se zvyšovala i frekvence sběrnic v počítači. Na zvyšování frekvence jsou nejcitlivější operační paměti. Test probíhal několik hodin v několika intervalech. Dle vlastní zkušenosti bylo usouzeno, že zvyšování bude probíhat po 100MHz. Dostali jsme se na frekvenci procesoru 3,6GHz, kdy byl počítač stále stabilní, ale při 3,7GHz už vykazovaly operační paměti chybu. Frekvence byla dále zvyšována po 1MHz. Vždy proběhl hodinový test zatížení pamětí a procesoru. Stabilní hodnota procesoru po taktování se zastavila na 3,64GHz. Frekvence sběrnice procesoru byla 405 MHz. Byla změněna hodnota děličky frekvence pamětí. Standardně je nastavena hodnota auto, která při frekvenci sběrnice 333MHz a frekvenci pamětí 1066MHz se rovná hodnotě 3,2.

Dělička se vypočítá podle vzorce: frekvence pamětí / FSB⁶ = dělička. V případě testované sestavy je to 1066/333 = 3,2. Děličku v případě taktování je vhodné nastavit na možnou nejnižší hodnotu, v našem případě to byla hodnota 2.

Naměřené teploty za těchto podmínek byly vyšší. V klidovém stavu při běžné práci na počítači obdobné testu bez taktování CPU byla teplota procesoru pohybující se od 26°C do 33°C. Otáčky ventilátoru byly v rozmezí 1477ot/min až 1607ot/min. Teplota základní desky byla v tomto případě testu stejná, jako při nominální frekvenci procesoru a to 40°C.



Obrázek 34: BIOS - navýšená frekvence procesoru a sběrnice, změna děliče frekvence pamětí

⁶ FSB – Anglická zkratka Front Side Bus – oboustranná datová sběrnice přenášející data mezi procesorem a severním můstkem

Ovšem při zátěži procesoru se teplota procesoru výrazně zvýšila. Teplota zhruba po dvou hodinové zátěži byla 66°C. Tato hodnota se u procesoru od výrobce Intel přibližuje k hodnotám, při kterých začne být procesor podtaktován za účelem snížení teploty procesoru jako ochrany, proti jeho poškození. Nám se tak v tomto případě nestalo, protože v testu nebylo překročena hodnota 70°C. Otáčky ventilátoru byly 2813ot/min. Hluk ventilátoru už byl dosti slyšitelný a při večerní práci by mohl být vnímán jako rušivý. Teplota základní desky byla 43°C. Doporučení jak z vlastní zkušenosti tak i výrobce, pokud by pracovní teplota měla převyšovat 60°C, je výhodnější investovat do výkonnějšího chladiče, nebo v lepším případě do vodního chlazení, kde budou výsledky popsány níže.

V této části byla provedena výměna box bloku za vodní chlazení. Montáž vodního chlazení byla náročnější než montáž box chladiče dodávaného výrobcem. U vodního chlazení je nutné vymontovat celou základní desku ze skříně, do zadní části umístit tzv. backplate, což je držák pro chladič umístěný na procesoru. Box chladič má na sobě 4 nožičky, které se do základní desky pouze zacvaknou, ovšem těžší aktivní chladiče a vodního chlazení je za tento držák nutno přišroubovat. Rozloží se tím hmotnost chladiče do větší plochy základní desky a nebude tak hrozit případné vylomení chladiče z desky. Dalším dosaženým efektem je jeho pevnější uchycení a přítlak na procesor. Po nanesení dostatečného množství chladicí pasty a namontování čerpadla na procesoru byl upevněn radiátor do vrchní části počítačové skříně spolu se dvěma ventilátory, které ho ochlazovaly přes otvory ve vrchní části skříně a odváděly zároveň ohřátý vzduch ze skříně. Po namontování byl počítač zapnut na 1 hodinu, aby se ohřála kapalina v oběhu. Až po dostatečném zahřátí kapaliny byly prováděny testy.



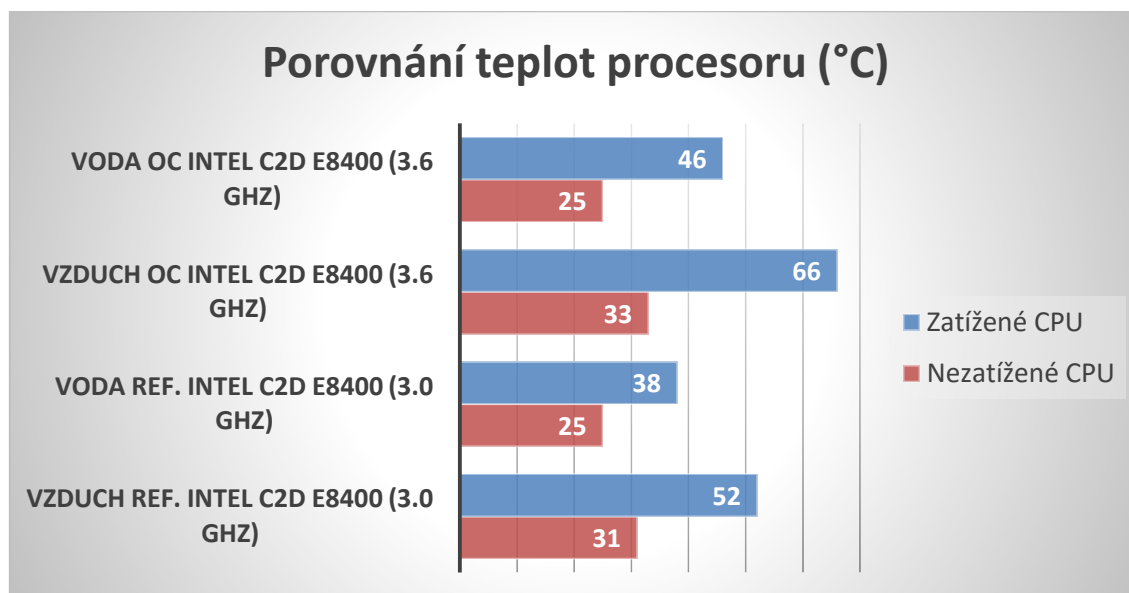
Obrázek 35: Testovaná sestava s vodním chlazením

První teploty byly měřeny na netaktovaném procesoru v klidovém stavu při běžném používání počítače. Teplota procesoru byla 22°C až 25°C. Otáčky čerpadla se pohybovaly mezi 2700ot/min až 2722ot/min. Pokles teploty byl zaznamenán v počítačové skříni, kde měla deska teplotu 37°C. Tento pokles zajistily především ventilátory radiátoru. Větší rozdíl teplot je zaznamenán v porovnání zatíženého procesoru. Při zatížení procesoru s tovární frekvencí 3,0GHz byly změny teploty výraznější ve srovnání s box chladičem. Teploty v zátěži se pohybovaly mezi 36°C až 38°C, otáčky čerpadla se pohybovaly podobně jako při nezatíženém procesoru a to mezi 2711ot/min až 2722ot/min. Teplota základní desky se nezměnila a zůstala na 37°C.

Proběhlo taktování na stejné hodnoty, jako bylo u box chladiče, sestava byla znovu otestována 2 hodinami plného vytížení, zda nebude vodní chlazení činit problémy při zvýšené frekvenci procesoru na stejnou hodnotu 3.64GHz. Při testu se ukázalo, že je vše v pořádku. Testy byly vypnuty a na počítači byly prováděny běžné kancelářské činnosti. Naměřené teploty při zvýšené frekvenci procesoru a sběrnic byly podobné, jako bez taktování a to 23°C až 25°C. Jak je vidět v tomto případě si vodní chlazení dokáže poradit se zvýšenou frekvencí, aniž by byly zaznamenány zvýšené teploty. Otáčky čerpadla se také příliš nezvýšily, pohybovaly se mezi 2722ot/min až 2733ot/min. Osvědčily se také ventilátory radiátoru, které udržovaly teplotu základní desky stále na 37°C. Posledním měřením bylo zatížení taktovaného procesoru s vodním chlazením. Teploty procesoru se v zátěži pohybovaly mezi 42°C až 46°C, otáčky čerpadla zůstaly stejné jako v nezatíženém

stavu a to mezi 2722ot/min až 2733ot/min. Teplota základní desky se zvedla pouze minimálně a to na 38°C. Hluk vodního chlazení v maximální zátěži byl téměř nezatelný oproti předchozímu případu s box chladičem.

Naměřené hodnoty byly přeneseny do grafu (obr. 36), kde vidíme zřejmé výsledky a rozdíly.



Obrázek 36: Grafické znázornění srovnání teplot vodního a aktivního chlazení

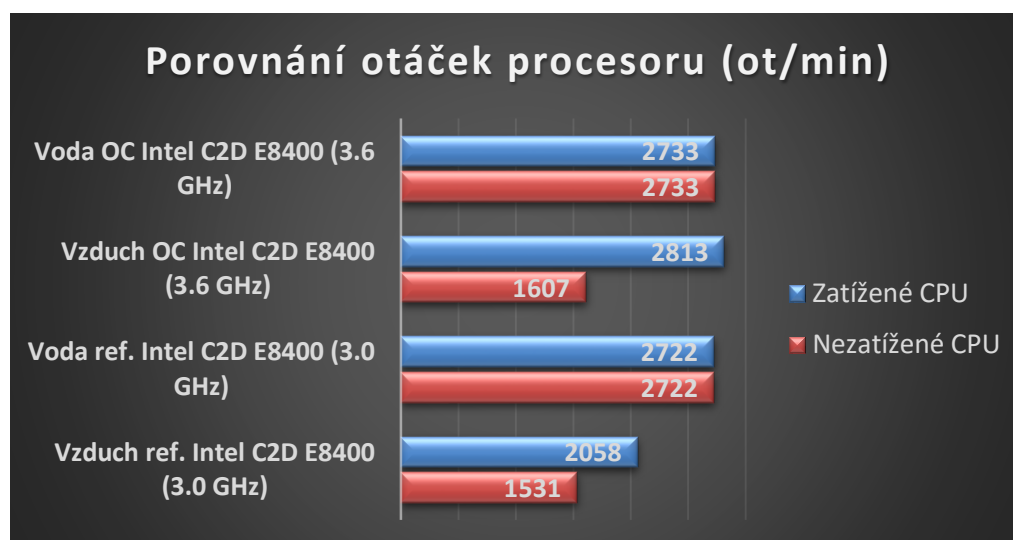
V grafu jsou vyneseny naměřené hodnoty vodního a aktivního chlazení. OC v obrázku znamená overclock⁷ (přetaktování), REF je zkratka pro referenční. Porovnávané hodnoty jsou jak zatíženého, tak nezatíženého procesoru.

Zhodnocení výsledků experimentu

Z grafického zobrazení výsledků je zřejmé, že vodní chlazení ve stavu, kdy není procesor taktován, dokáže snížit teplotu až o 14°C. Při taktování je rozdíl snížení teploty v zátěži až 20°C. Tyto rozdíly mohou zásadně ovlivnit životnost procesoru. Výhoda vodního chlazení v tomto případě je také ta, že je odolné vůči prachu. V případě použití box chladiče dodávaného výrobcem nesmíme zanedbat jeho pravidelné roční čištění od prachu vyfoukáním. Pokud je chladič zanesen prachem, účinnost chlazení je snížena, procesor bude namáhán vyšší teplotou a může dojít k jeho nevratnému poškození. U vodního chlazení tohoto typu, bychom měli pravidelně kontrolovat, zda nikde neuniká z chladičích

⁷ Overclock – Anglická zkratka pro přetaktování, může se také označovat OC

okruhu kapalina. Tento typ chladiče je jinak bezúdržbový a prodává se jako set radiátoru a čerpadla s hadicemi a kapalinou už smontovaný.



Obrázek 37: Grafické znázornění srovnání otáček ventilátoru a čerpadla

Na výše uvedeném grafu (obr. 37) vidíme, že čerpadlo u vodního chlazení běží stále v dosti podobných otáčkách. Ventilátor v aktivním chlazení je ovšem regulovaný dle teploty, kde při otáčkách nad 2000ot/min začíná být dosti slyšitelný.

Tento způsob měření dopadl s jasným výsledkem rozdílu aktivního a vodního chlazení. Vodní chlazení se v tomto případě stalo jasným vítězem pro nižší teplotu procesoru. Z vlastní zkušenosti je tomu tak i u počítače, který má chlazení poskládáno kompletně z vodních bloků. Výhoda je snížený pohyb vzduchu uvnitř počítače, sestava tak není zatěžovaná častějším zanášením prachem, teplo z komponent je odváděno rychleji a hluk je mnohem nižší, než při použití sestavy s aktivním chlazením. Největší hluk vydává aktivní chlazení grafických karet, které ať je sebedražší, nikdy nesplní funkci takového ochlazení a tak nízkého hluku jako vodní chlazení. Platí pro všechny komponenty v počítači.

Je zřejmé, že uživatel, který na počítači dělá běžnou práci ve Wordu, popřípadě „surfuje“ na internetu apod., si nebude pořizovat vodní chlazení. Ovšem pro domácí uživatele, kteří rádi experimentují a konají náročnější práci je vodní chlazení vhodnou alternativou. Cenový rozdíl je také znatelný. Při pořízení procesoru spolu s ním dostanete box chladič v ceně procesoru. Vodní chlazení se pohybuje v současnosti od několika stovek až po tisíce korun. Porovnání kvality chlazení u box chladiče dodávaného výrobce a alternativy vodního

chlazení vypovídá jasně v prospěch vodního chlazení. Nižšími teplotami komponent zajistíme zvýšení jejich životnosti.

3.2 EXPERIMENTÁLNÍ CHLAZENÍ POČÍTAČE OLEJEM

Experiment chlazení počítače olejem tvoří druhou část praktické části. Cílem bylo zjištění rozdílu teplot při chlazení počítače vzduchem a poté transformátorovým olejem. Tento pokus byl prováděn na zcela jiné sestavě. Měření hodnot probíhalo tentokrát pomocí informačního panelu použitého z počítačové skříně značky Barbone. Tento panel na sobě má 3 teplotní čidla. Čidla jsou pro grafickou kartu, pevný disk a procesor. V pokusu byla tato čidla umístěna na procesor, grafickou kartu a čidlo pro pevný disk bylo umístěno na chipset. Čidla byla umístěna těsně k měřené komponentě. V tomto pokusu byly teploty reálnější než u předchozího pokusu, kde umístění čidla k procesoru nebylo možné. Čidlo na procesor nebylo tentokrát ovlivňováno ofukem ventilátoru. Na testovaném počítači byl použit chladič vyrobený ohýbáním plechu, nikoliv odlitek z formy a ventilátor na něm umístěný teplý vzduch odsával. Neochlazoval tedy pasivní chladič, jak tomu bylo v předchozím pokusu. Bohužel počítač nemá vlastní čidla na základní desce, ani na jiné komponentě pro porovnání teplot. Zjištění bylo možné tedy pouze z teplotních čidel. Sestavu nebylo možné taktovat, protože základní deska měla pevně dané frekvence a informace o otáčkách ventilátoru nebylo možné také zjistit. Teploty měřené v zátěži probíhaly po 3 hodinách zatížení.

Testovaná sestava:

Procesor: Intel Pentium 4 1.5GHz

Operační paměť: Dell Optiplex SDRAM 512MB

Základní deska: Dell Optiplex GX240

Grafická karta: Ati Ultra 32MB

Napájecí zdroj: Dell Optiplex GX240 SFF 180W

Operační systém: Windows XP Professional

Olej: Transformátorový neznámé značky – 15litrů

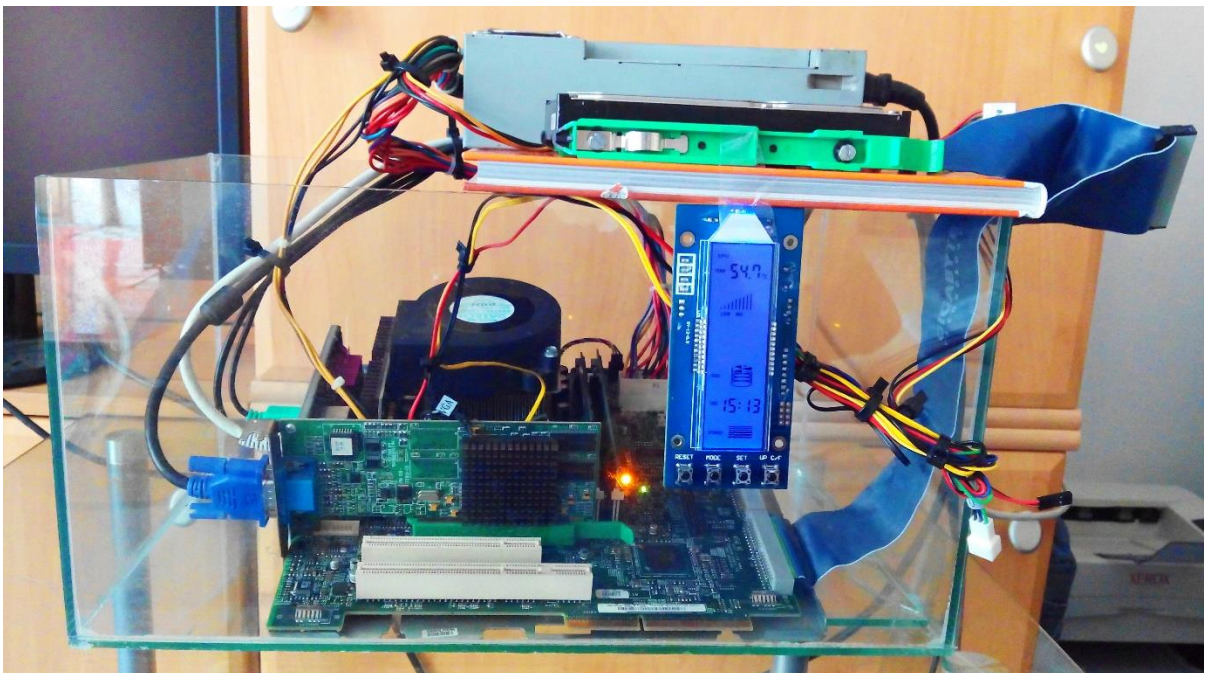
Měřicí čidlo: Informační panel počítačové skříně Barbone

Způsob a podmínky měření

Testovaná soustava byla umístěna do akvária vhodné velikosti, do kterého nebyl umístěn pevný disk. Pevný disk je komponenta, která se do oleje neponořuje, neboť má na sobě otvor, jež slouží k vyrovnání tlaku uvnitř a vně disku. Pokud by přes tento otvor natekl olej, došlo by k jeho mechanickému poškození. Do oleje je možné ponořit SSD disk, který žádné mechanické součásti nemá. Zdroj zůstal také venku, z důvodů malého prostoru v akváriu, v případě většího akvária není problém ho do oleje také ponořit. Pro test byl použit transformátorový olej, který byl z transformátorové stanice darován od nejméně společnosti.

Naměřené hodnoty

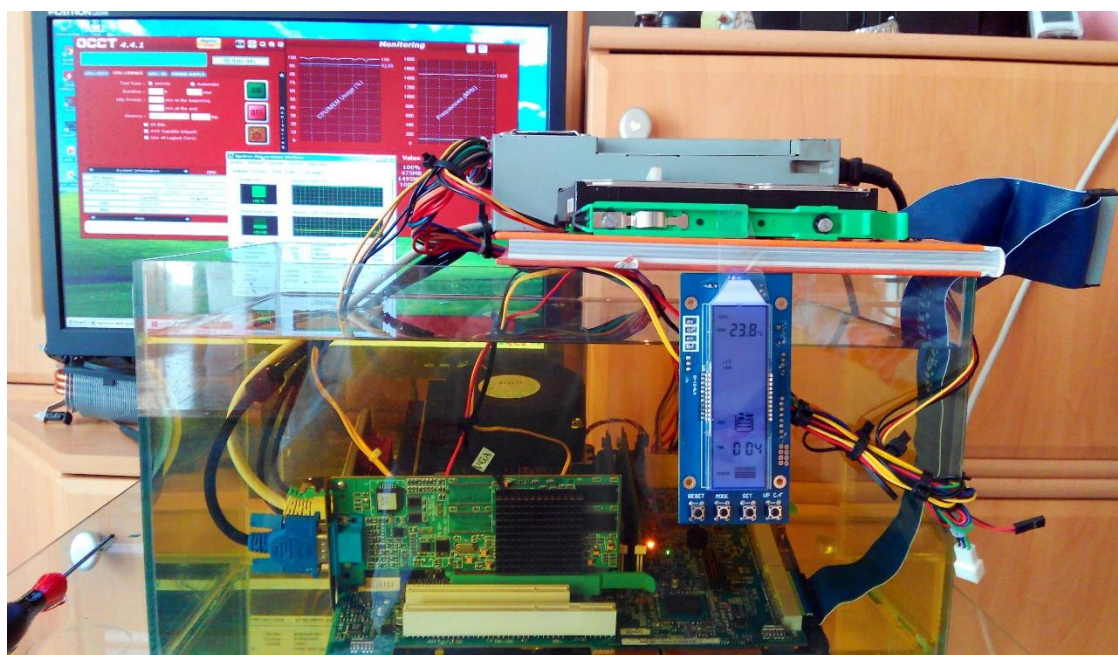
Prvotní test probíhal nejprve „nasucho.“ Počítač byl umístěn do akvária a zapnut. Měření teplot v klidovém stavu probíhalo při práci ve Wordu, „surfování“ na internetu. Teploty při nezatížení počítače byly naměřeny u procesoru 38°C, u grafické karty 44°C a u chipsetu 44°C.



Obrázek 38: Počítač umístěný v akváriu - testy aktivního chlazení

Zátěž byla prováděna pomocí stejného programu, jako v předchozí praktické části, tedy programem OCCT 4.4.1, ovšem doba zatížení zde byla 3 hodiny. Teploty výrazně vzrostly. Teplota procesoru v zátěži byla 54.7°C, teplota grafické karty zůstala stejná 44°C a teplota chipsetu se zvýšila na 48°C.

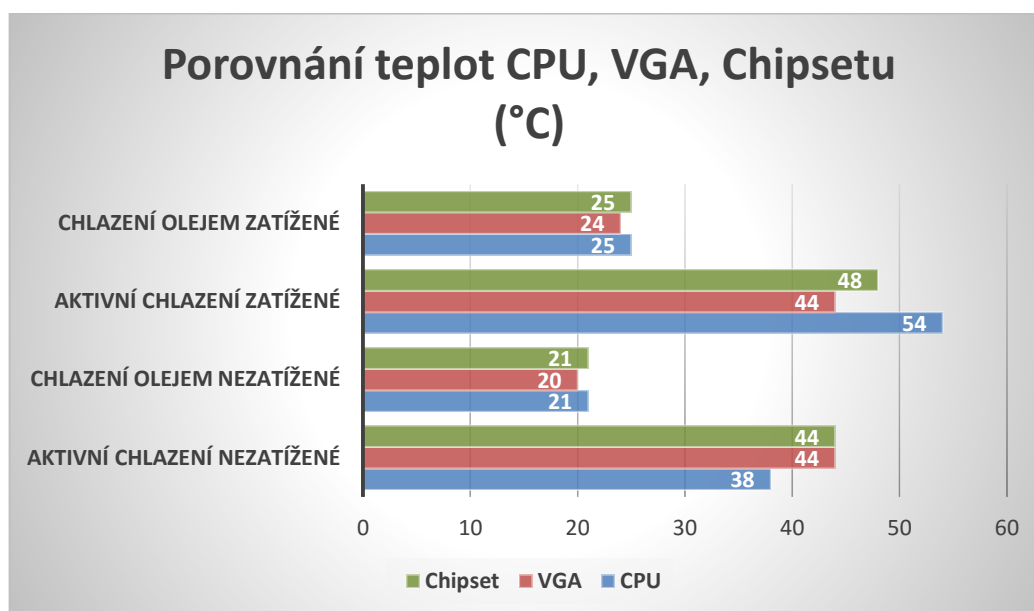
Po měření počítače bez zátěže a v zátěži aktivním chlazením byl počítač vypnut při nalévání oleje do akvária. Bylo použito celkem 15 litrů transformátorového oleje, jakmile byl dolit, počítač byl zapnut. Počítač běžel bez zatížení 3 hodiny, aby byly výsledky srovnatelné. Naměřené hodnoty v zátěži byly na procesoru 21°C, na grafické kartě 20°C a na chipsetu 21°C. Oproti původním teplotám je to znatelný rozdíl. To nejzásadnější a nejzajímavější přišlo ovšem při zatížení počítače, zátěž v oleji probíhala také 3 hodiny. Teploty se ovšem nijak výrazně nezvýšily. Teplota procesoru v zátěži vykazovala 25°C, grafická karta 24°C a chipset také 25°C.



Obrázek 39: Počítač ponořený v transformátorovém oleji

Rozdíly teplot jsou v tomto případě o více než polovinu rozdílné. Potvrdilo se nám, že chlazení kapalinou je účinnější, než chlazení vzduchem. V grafu jsou vidět porovnané hodnoty olejového chlazení oproti aktivnímu chlazení vzduchem.

Zhodnocení výsledků experimentu



Obrázek 40: Grafické znázornění srovnání teplot komponent ochlazované vzduchem a olejem

Ovšem chlazení olejem má své nevýhody. Při výměně komponent se objeví problém s mastnotou součástek při vyjmutí z oleje. Olej se stejně jako ostatní kapaliny vypařuje. Proto je velká nevýhoda mít počítač v akváriu několik let doma. Je možné při uklízení, či umývání nábytku natrefit na mastný povlak, který nepůjde snadno z nábytku dolů. Hlavní problémem je v tomto případě přetížení ventilátoru, který je navržen pro vzduchové chlazení. Olej má daleko větší hustotu než vzduch a brzdí ho tedy svou konzistencí. Dříve nebo později může dojít ke spálení cívky uvnitř a ventilátor se přestane točit, to začne mít vliv na teplotu v tomto případě hlavně procesoru, kde nebude zajištěno dostatečné chlazení a může dojít až k trvalému poškození součástky.

Nejvhodnější umístění počítače je do nádoby s olejem, kde bude zajištěno hermetické uzavření z důvodu odpařování oleje a aby se do něj také nedostaly nečistoty z okolí. Dále čerpadlo, které bude dimenzované pro konzistenci oleje a zajistí cirkulaci oleje v celé nádobě, nejen v jednom místě. Pro lepší ochlazení počítače je nutné pohyb oleje v celé soustavě. A jednou z hlavních věcí týkající se chlazení počítače olejem je použití nejvhodnějšího oleje pro zvolené chlazení a to je olej minerální. Minerální olej, má malou hustotu, téměř žádný obsah vody, nemění barvu po nějaké době používání a je zcela průhledný a nebarevný. Ovšem jeho cena je bohužel velmi vysoká pro běžného domácího uživatele.

Pro běžného uživatele je vhodnější chlazení komponent vodním chlazením, než ponořovat počítač do kapaliny. Údržba komponent je jednodušší a méně nákladná. Komponenty už nikdy důkladně nevyčistíme tak, abychom je zpět mohly použít do počítače, který bude chlazen aktivním nebo vodním chlazením. Pokud to uděláme, pozůstalá mastnota nám způsobí nalepení prachu, kde může dojít i ke zkratu a zničení celé soustavy.

Na základě vlastní dlouholeté zkušenosti s několika typy chlazení lze doporučit aktivního chlazení. I přes vyšší teploty je možné počítač velmi rychle rozebrat, vyměnit potřebnou součástku, zpět namontovat, zapojit a pokračovat v činnosti. Stavbu vlastního vodního chlazení doporučuji raději zkušenému uživateli, který počítač nebude přenášet a bude se o něj pravidelně starat, kontrolovat úniky, množství kapaliny v oběhu a bude zajišťovat její pravidelnou výměnu. Počítejme s několikahodinovou údržbou na rozdíl od několika minut při výměně a čištění počítače s aktivním chlazením.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo poskytnout informace o způsobech šíření tepla z komponent. Rozdělení chlazení počítače na hardwarové nebo softwarové, kde si díky softwarovému chlazení můžeme například sami regulovat otáčky ventilátorů v počítači, v případě vodního chlazení otáčky čerpadla. Práce také pojednává o rozdělení chlazení pro jednotlivé komponenty ať už náročné či nenáročné na výdej odpadního tepla. Je zde také uveden způsob chlazení počítače alternativními metodami jako je kompresorové či olejové chlazení, popřípadě budoucnost, kam se trendy chlazení mohou odebírat. Pojednává se zde také o rozdělení a výrobě některých typů chladičů, dále také na co dbát při výměně chladiče. Jsou zde také popsány možnosti a vhodný návrh vodního chlazení, které i přes jeho pořizovací cenu začíná být stále větším trendem mezi domácími uživateli. Práce seznamuje s principem vodního chlazení a k němu potřebné komponenty. Je zde návrh počítačové skříně, jak by měl správně probíhat průtok vzduchu v počítači, aby nevznikaly vzdušné víry, popřípadě návrh vodního chlazení tak, aby nedošlo k brzkému poškození čerpadla horkou kapalinou. Je zde také zmíněno na co si dát pozor při koupi vodních bloků, aby nedocházelo ke vzniku galvanické koroze.

V praktické části bylo ukázáno porovnání vodního a aktivního chlazení procesoru. Zjištěné výsledky vypovídaly ve prospěch vodního chlazení, kde se ukázal rozdíl teplot až o 20°C. Test byl prováděn pečlivě a pro větší rozsah výsledků byla sestava také taktována. Testy probíhaly jak v klidovém stavu, tak v zátěži. Výsledek také ukázal nevhodnost taktování při použití box chladiče, kde se teploty blížily hranici samovolného podtaktování procesoru z důvodu ochrany proti jeho poškození. Při tomto dlouhodobém stavu hrozí jeho trvalé poškození v horším případě až zničení. Vodní chlazení je doporučeno použít pro sestavy s vyšším výkonem, nikoliv pro kancelářské počítače a také pro uživatele, kteří požadují co nejnižší hluk.

Druhá část praktické části byla spíše experimentem o porovnání teplot počítače ponořeného v oleji oproti počítači chlazeného vzduchem. Výsledky byly ve prospěch počítače chlazeného olejem. Teploty byly až o 30°C nižší při chlazení olejem. I přes tento pokus doporučuji využívat vodní popřípadě aktivní chlazení. Chlazení olejem sebou nese spousty nevýhod jako je vypařující se olej, náklady na cenu oleje vhodného pro chlazení

počítače a nemluvě o možnosti dalšího využití počítače, který už bude navždy olejem i přes důkladné vyčištění zanesen.

Oba experimenty byly prováděny v domácích podmínkách jako amatérské testy za účelem porovnání několika typů chlazení oproti chlazení vzduchem. Podobné testy je možné provozovat amatérsky, ovšem je potřeba mít na paměti, že výsledky experimentu nemusí mít ve všech případech obecnou platnost.

RESUMÉ

In theoretical part of this bachelors thesis is discussed ways and properties of computer cooling. Heat transfer between components and difference between software and hardware cooling is described in this section. This paper recommends best cooler type for each computer element. Thesis compares water and active cooling. Water cooling design with case description and useful recommendations is presented in next part. At the end of the theoretical part is explored how the future of computer cooling could look like.

The main goal of practical part is comparing computer processing unit temperatures using water and active cooling. The CPU was overclocked for better results. Air and oil cooling comparison is also mentioned in practical section. Thesis shows pros and cons of several types of cooling

SEZNAM LITERATURY

- [1] Intel P8085AH. *CPU-World: Microprocessor news, benchmarks, information and pictures* [online]. © 2003 - 2010, 2014-02-24 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8085/Intel-P8085AH.html>
- [2] Spotřeba procesorů - komplexní přehled (Q1 2003). OREL, Petr. *PCTuning* [online]. 7. 3. 2003 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=3508&catid=26&Itemid=65
- [3] Intel 8086 microprocessor family. *CPU-World: Microprocessor news, benchmarks, information and pictures* [online]. © 2003 - 2010, 24. 2. 2014 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8086/>
- [4] Intel Pentium 4 2.5 GHz - RK80532PC060512 / BX80532PC2500D. *CPU-World: Microprocessor news, benchmarks, information and pictures* [online]. © 2003 - 2010, 24. 2. 2010 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/Intel-Pentium%204%202.5%20GHz%20-%20RK80532PC060512%20\(BX80532PC2500D\).html](http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/Intel-Pentium%204%202.5%20GHz%20-%20RK80532PC060512%20(BX80532PC2500D).html)
- [5] FUKÁTKO, Tomáš. *Teplo a chlazení v elektronice*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 118 s. ISBN 80-730-0199-3.
- [6] AMD FX-8350 vs Intel Core i5-3570K. *CPU-World: Microprocessor news, benchmarks, information and pictures* [online]. © 2003 - 2010, 2014-10-18 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/Compare/444/AMD_FX-Series_FX-8350_vs_Intel_Core_i5_i5-3570K.html
- [7] KŘIVOHLÁVEK, Jindřich. *Chlazení počítače: kompletní průvodce (nejen) pro hráče*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2007, 183 s. ISBN 978-80-251-1509-1.
- [8] Tepelný součinitel a tepelný odpor tepelných izolací – konvence a radiace tepla. *Tepelne izolace novej generacie, strikane izolace, termo natery* [online]. © 2013 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.ekovoice.cz/blog/2013/08/22/tepelni-soucinitel-a-tepelny-odpor-tepelnych-izolaci/>
- [9] VÍTEK, Jan a Petr POPELKA. Přehled desktopových procesorů. Svět hardware [online]. 4. 9. 2014 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/prehled-desktopovych-procesoru/22566-14>
- [10] STACH, Jan. Základy PC: chlazení a tichý počítač. *PCTuning* [online]. 19. 6. 2006 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/navody/zaklady-stavba-pc/7167?start=1>

- [11] Technologie současného a budoucího chlazení. VÍTEK, Jan. *Svět hardware* [online]. 2. 11. 2005 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-soucasneho-a-budouciho-chlazení/12967-2>
- [12] SilverStone rozšiřuje nabídku chladičů o pasivní SST-HE02 a dvojvěž SST-NT08. BERAN, Zdeněk. *Cnews.cz* [online]. 12. 6. 2012 [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/silverstone-rozsiruje-nabidku-chladicu-o-pasivni-sst-he02-dvojvez-sst-nt08>
- [13] Zalman 6000CU (tichý chladič pro CPU na Socket 462). KŘIVOHLÁVEK, Jindřich. *Diit.cz - Vybráno z IT* [online]. 22. 8. 2003 [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/zalman-6000cu-tichy-chladic-pro-cpu-na-socket-462/6033>
- [14] Nanášení teplovodivé pasty – jaký postup je ten nejlepší?. WOJTĚCH, Daniel. *PCTuning* [online]. 10. 12. 2013 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/28624-nanaseni-teplovodive-pasty-jaky-postup-je-ten-nejlepsi?start=1>
- [15] Srovnávací test 80mm ventilátorů - první část. VÍTEK, Jan. *Svět hardware* [online]. 11. 1. 2006 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-srovnavaci-test-80mm-ventilatoru-prvni-cast/13378>
- [16] Heat Pipe: princip a konstrukce. KOTLÍK, Václav. *Svět hardware* [online]. 1. 2. 2007 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>
- [17] Test mobilních grafik — GTX 680M (SLI) vs. HD 7970M (CF). ŠULC, Tomáš. *PCTuning* [online]. 29. 10. 2012 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/notebooky-pda/25335-test-mobilnich-grafik-gtx-680m-sli-vs-hd-7970m-cf?start=12>
- [18] Asus HD 7970 Matrix Platinum – nadupaný soupeř MSI Lightning. OBERMAIER, Zdeněk. *PCTuning* [online]. 16. 10. 2012 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/graficke-karty/25167-asus-hd-7970-matrix-platinum-nadupany-souper-msi-lightning?start=3>
- [19] STACH, Jan. Základy PC: chlazení a tichý počítač. *PCTuning* [online]. 19. 6. 2006 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/navody/zaklady-stavba-pc/7167?start=2>
- [20] Časté dotazy.. *Vodní chlazení* [online]. 7.1.2010 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://wroom.wz.cz/dotazy/vch_dotazy.html
- [21] Vodní chlazení část první - výběr čerpadla. ČÁSTKA, Michal. *PCTuning* [online]. 1. 10. 2008 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: [http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/11683-vodni_chlazení_cast_prvni-vyber_cerpadla?start=2](http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/11683-vodni-chlazení_cast_prvni-vyber_cerpadla?start=2)

- [22] Vodní chlazení část první - výběr čerpadla. ČÁSTKA, Michal. *PCTuning* [online]. 1. 10. 2008 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/11683-vodni_chlazení_cast_prvni-vyber_cerpadla?start=7
- [23] Teoretický i praktický průvodce vodním chlazením. ŠULC, Tomáš. *Svět hardware* [online]. 12. 8. 2013 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/27530-teoreticky-i-prakticky-pruvodce-vodnim-chlazenim?start=3>
- [24] Cooler Master, Noctua a Thermalright pro LGA 1366. VÍTEK, Jan. *Svět hardware* [online]. 30. 12. 2009 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-cooler-master-noctua-a-thermalright-pro-lga-1366/28609-2>
- [25] MACS a Titan – Peltier ve vašich službách. VÍTEK, Jan. *Svět hardware* [online]. 9. 1. 2007 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-macs-a-titan-peltier-ve-vasich-sluzbach/15793>
- [26] Biohazard a aktualizovaná sestava chlazená kompresorem. BOČEK, Pavel. *Svět hardware* [online]. 24. 7. 2008 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/biohazard-a-aktualizovana-sestava-chlazenakompresorem/24004>
- [27] STACH, Jan. Základy PC: chlazení a tichý počítač. *PCTuning* [online]. 19. 6. 2006 [cit. 2014-11-04]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/navody/zaklady-stavba-pc/7167?start=1>
- [28] Servery ponořené do oleje? Efektivní chlazení i podle Intelu. JAVŮREK, Karel. *O počítačích, IT a internetu - Živě.cz* [online]. 10. 9. 2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/servery-ponorene-do-oleje-efektivni-chlazenim-i-podle-intelu/sc-3-a-165349/default.aspx>
- [29] Základy PC: chlazení a tichý počítač. STACH, Jan. *PCTuning* [online]. 19. 6. 2006 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/navody/zaklady-stavba-pc/7167-zaklady_pc-chlazenim_a_tichy_pocitac?start=4
- [30] [23] Teoretický i praktický průvodce vodním chlazením. ŠULC, Tomáš. *Svět hardware* [online]. 12. 8. 2013 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/27530-teoreticky-i-prakticky-pruvodce-vodnim-chlazenim?start=1>
- [31] Galvanická koroze - skutečná zkáza vodníků?. SKÁCEL, Jan. *PCTuning* [online]. 6. 10. 2008 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/11719-galvanicka_koroze_skutecna_zkaza_vodniku?start=1
- [32] Budoucnost chlazení: rotující kov namísto větráku. FIALA, Lukáš. *Cnews.cz* [online]. 9. 7. 2011 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/budoucnost-chlazenim-rotujici-kov-namisto-vetraku>

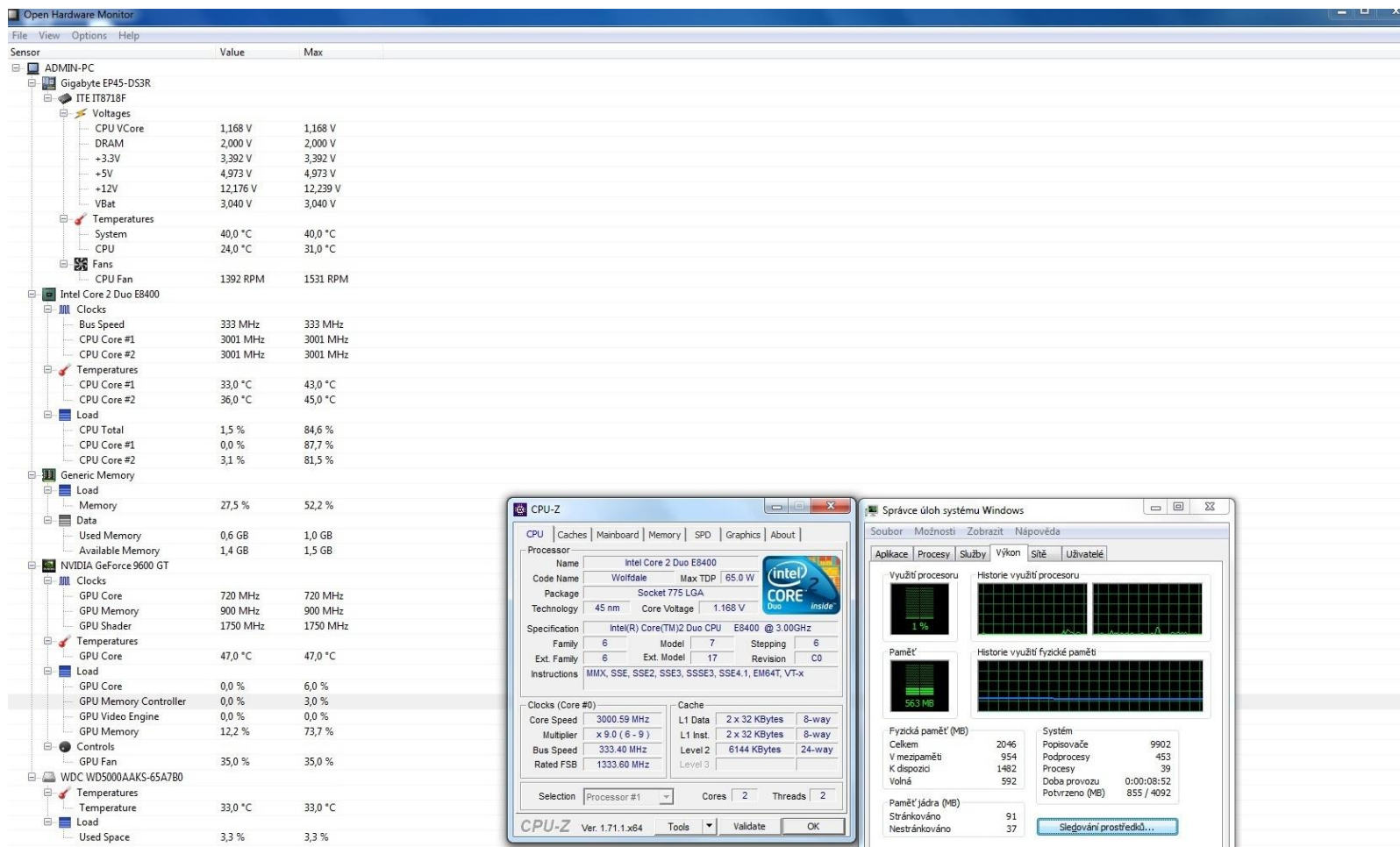
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obrázek 1: Procesor Intel Pentium 4 - 2,5GHz s jádrem Northwood [4]	4
Obrázek 2: Procesor Intel 8086 [3].....	4
Obrázek 3: Způsoby šíření tepla [8]	7
Obrázek 4: Chladič vyrobený extrudováním [11]	10
Obrázek 5: Chladič CPU s tenkými plechy [12]	11
Obrázek 6: Chladič CPU sešroubený [13].....	11
Obrázek 7: Chladič a procesor s nanesenou vrstvou chladicí pasty [14]	12
Obrázek 8: Pasivní chladič vyrobený ohýbáním plechu [11].....	12
Obrázek 9: Ventilátor s kluzným ložiskem [15].....	13
Obrázek 10: Ventilátor s kuličkovým ložiskem [15].....	13
Obrázek 11: Princip heatpipe trubičky [16]	15
Obrázek 12: Chladič grafické karty s technologií heatpipe [18].....	16
Obrázek 13: Využití několika heatpipe v notebooku [17].....	16
Obrázek 14: Princip vodního chlazení [20].....	18
Obrázek 15: Ponorné vodní čerpadlo [21].....	19
Obrázek 16: Průtokové vodní čerpadlo [22]	19
Obrázek 17: Vodní blok pro grafickou kartu [19].....	20
Obrázek 18: Expanzní nádoba [23]	20
Obrázek 19: Radiátor s přípravou pro 3 ventilátory 12 x 12cm [23]	21
Obrázek 20: Hadice vhodná pro spojení komponent vodního chlazení [23]	21
Obrázek 21: Vlevo fitinka, uprostřed šroubovací spojka, vpravo fitinka s maticí [23]	22
Obrázek 22: Masivní kombinovaný chladič CPU s použitím heatpipe [24]	23
Obrázek 23: Peltierův článek - složení [25]	23
Obrázek 24: Peltierův článek [25].....	24
Obrázek 25: Kompresorové chlazení chipsetu a CPU [26].....	25
Obrázek 26: Počítač ponořený do akvária v rostliném oleji [27].....	26
Obrázek 27: Chlazení serverů Intel od společnosti Green Revolution Cooling v minerálním oleji [28].....	26
Obrázek 28: Ukázka správného proudění vzduchu v počítačové skříni [29].....	31
Obrázek 29: Ukázka počítače s vodním chlazením.....	32
Obrázek 30: Galvanická koroze způsobená hliníkem ve vodním okruhu [31]	34
Obrázek 31: Nákres odváděného tepla z rotoru [32].....	35
Obrázek 32: Testovaná sestava s box chladičem.....	37
Obrázek 33: : BIOS - základní frekvence procesoru a sběrnice.....	38
Obrázek 34: BIOS - navýšená frekvence procesoru a sběrnice, změna děliče frekvence paměti	39
Obrázek 35: Testovaná sestava s vodním chlazením	41
Obrázek 36: Grafické znázornění srovnání teplot vodního a aktivního chlazení.....	42
Obrázek 37: Grafické znázornění srovnání otáček ventilátoru a čerpadla	43
Obrázek 38: Počítač umístěný v akváriu - testy aktivního chlazení.....	45
Obrázek 39: Počítač ponořený v transformátorovém oleji.....	46
Obrázek 40: Grafické znázornění srovnání teplot komponent ochlazované vzduchem a olejem	47
Obrázek 41: Aktivní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.0GHz	II

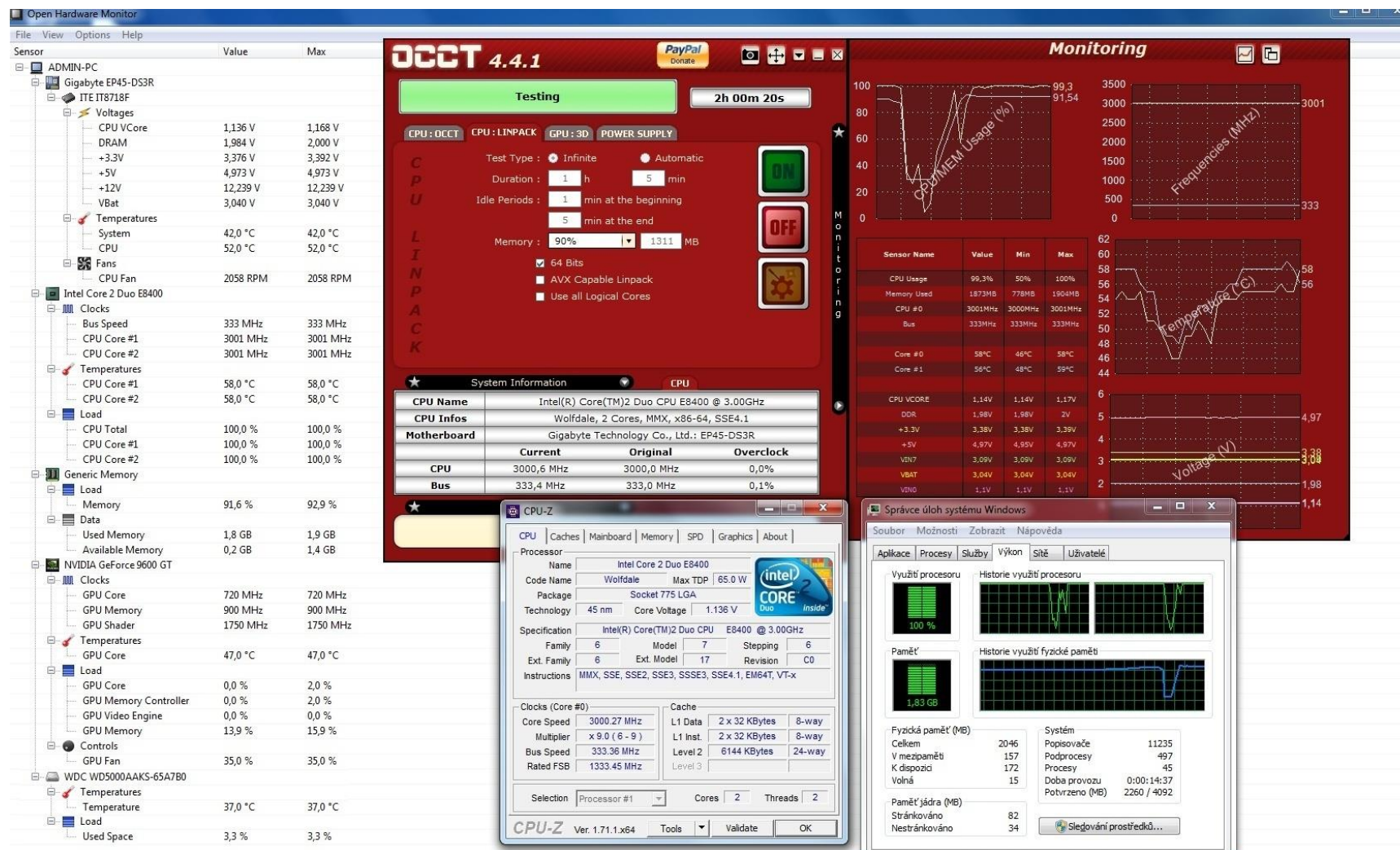
Obrázek 42: Aktivní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.0GHz	III
Obrázek 43: Aktivní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.6GHz	IV
Obrázek 44: Aktivní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.6GHz	V
Obrázek 45: Vodní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.0GHz	VI
Obrázek 46: Vodní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.0GHz	VII
Obrázek 47: Vodní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.6GHz	VIII
Obrázek 48: Vodní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.6GHz	IX
Obrázek 49: Počítač Dell Optiplex GX240 bez zátěže.....	X
Obrázek 50: Počítač Dell Optiplex GX240 se zátěží	XI

PŘÍLOHY

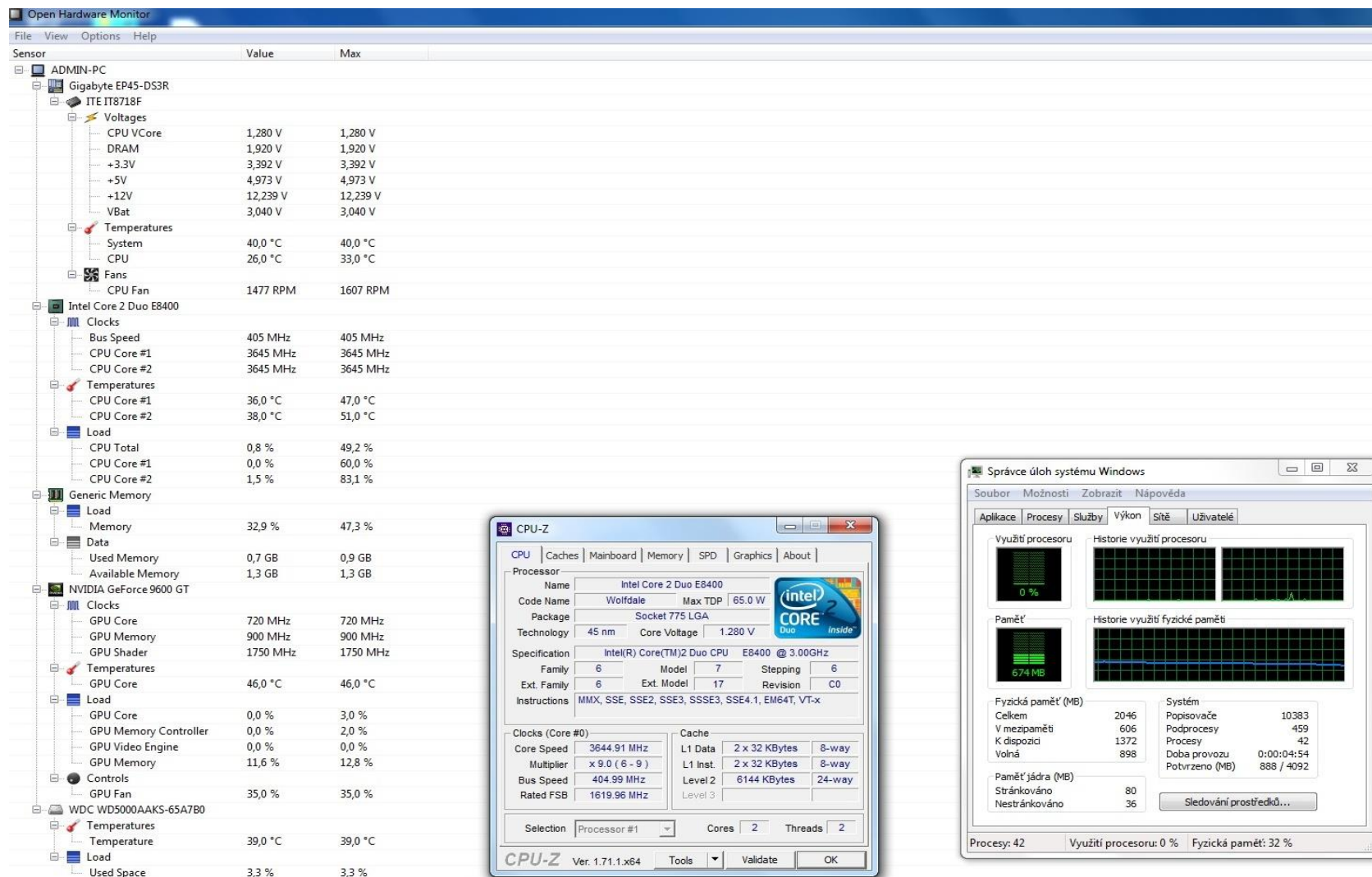
PŘÍLOHA 1 – VODNÍ CHLAZENÍ VS. AKTIVNÍ CHLAZENÍ PROCESORU



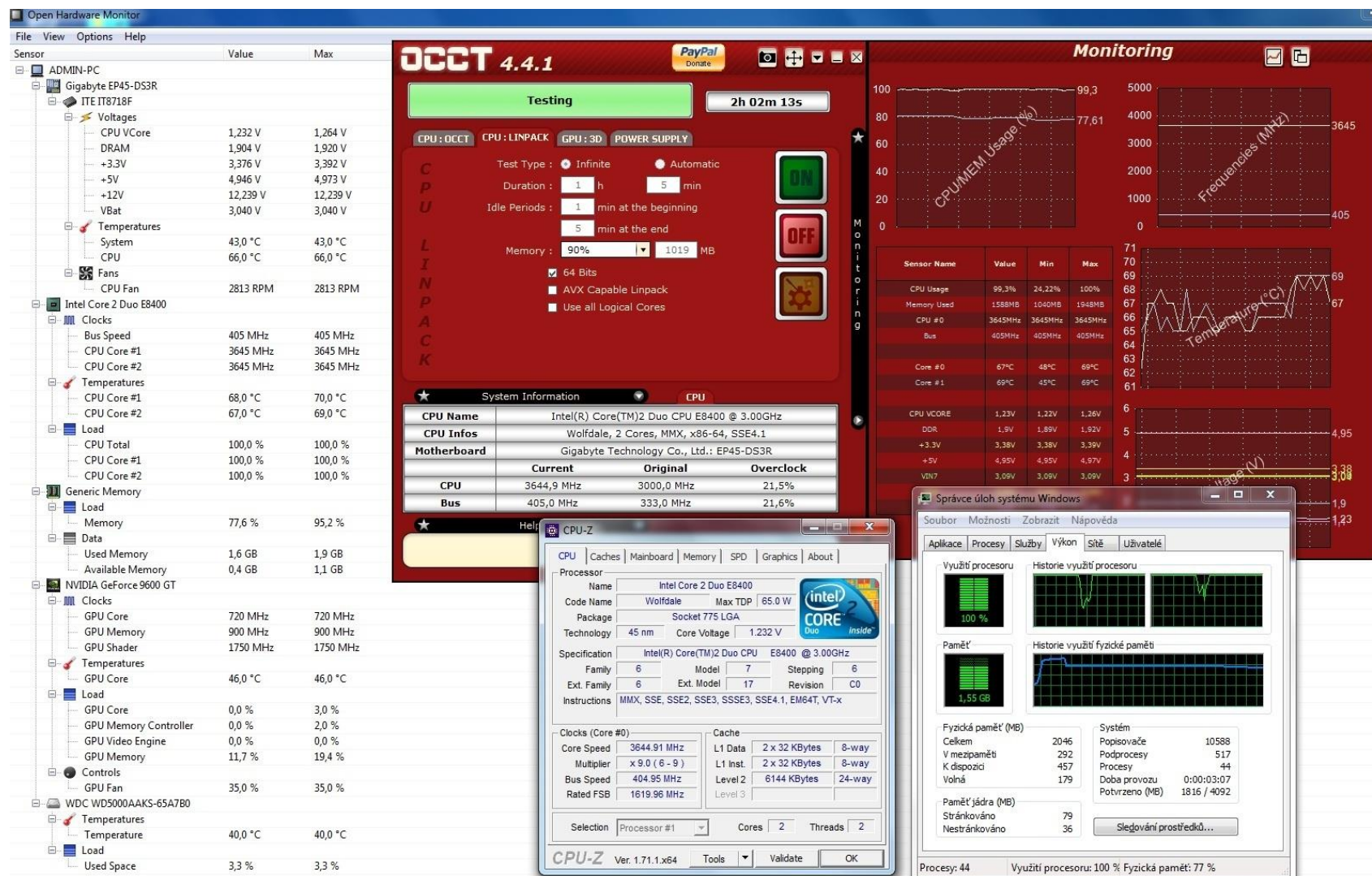
Obrázek 41: Aktivní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.0GHz



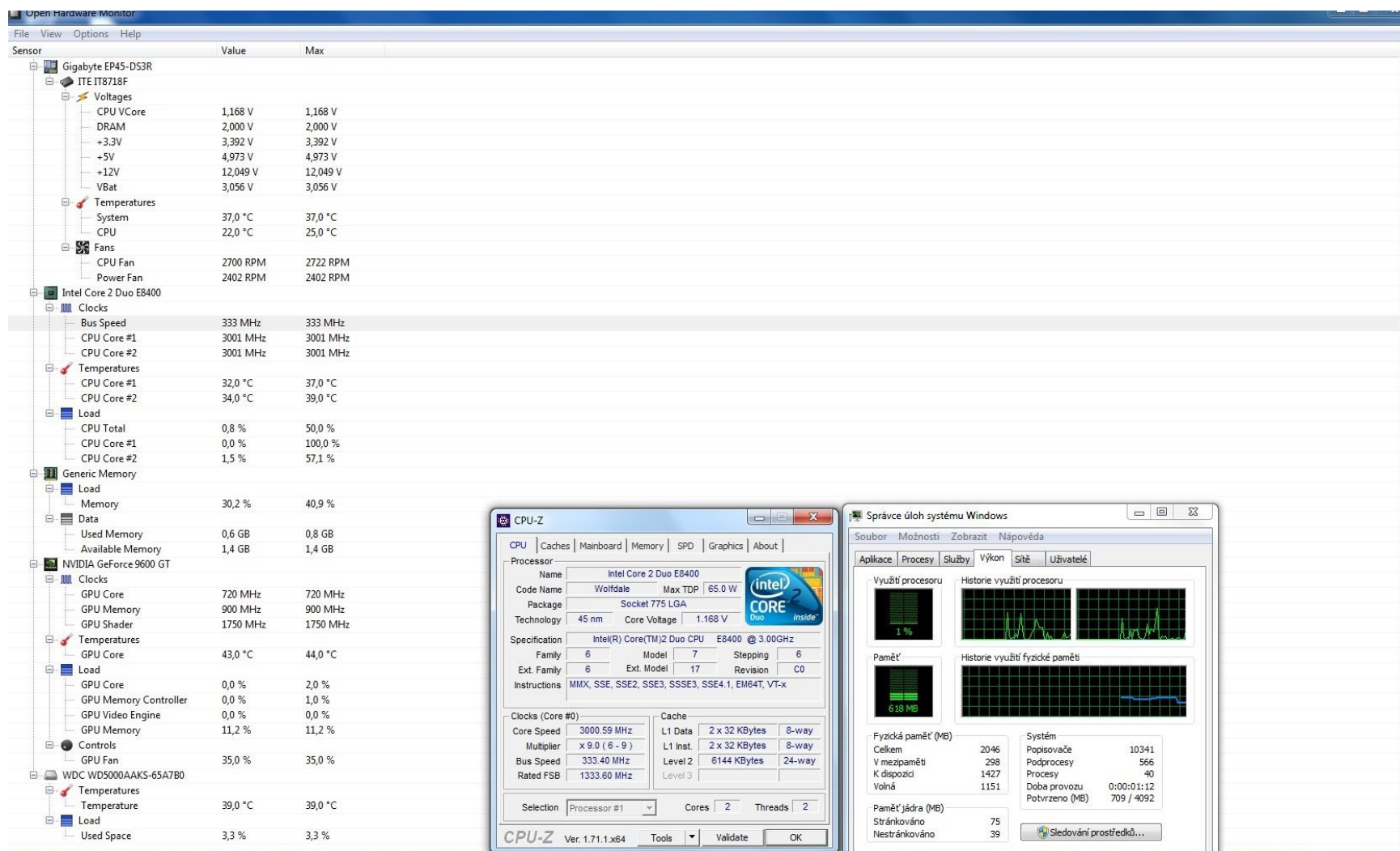
Obrázek 42: Aktivní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.0GHz



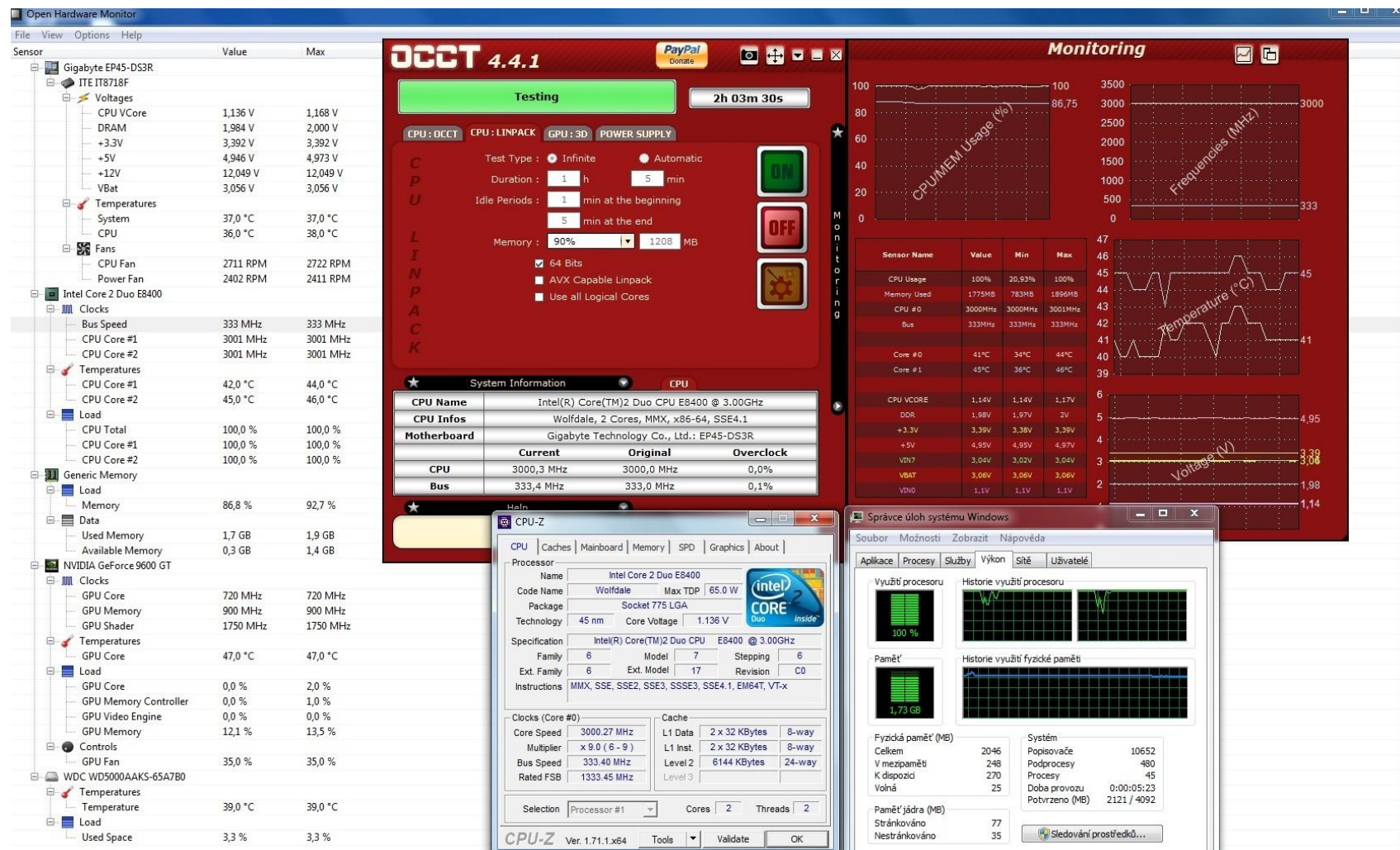
Obrázek 43: Aktivní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.6GHz



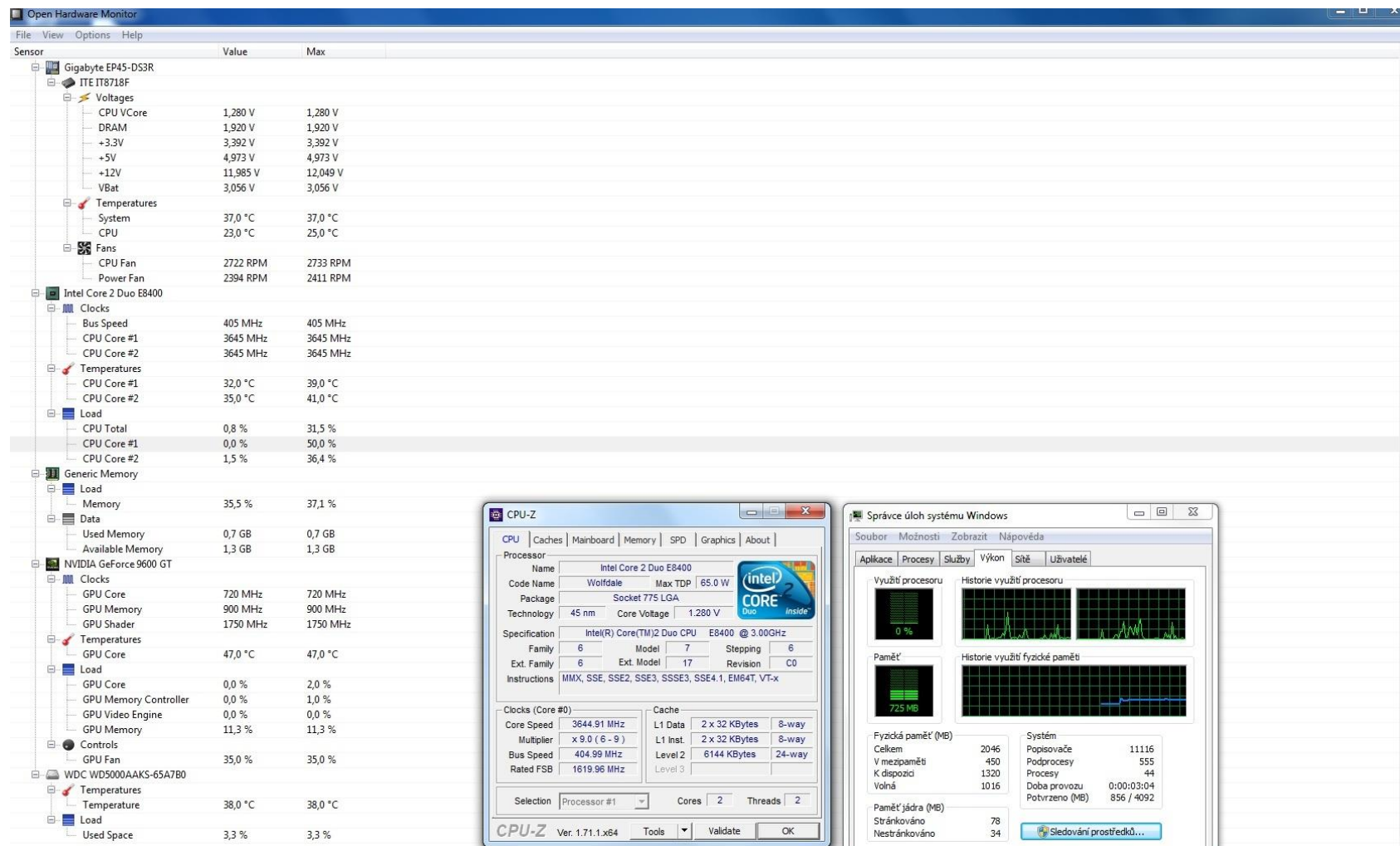
Obrázek 44: Aktivní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.6GHz



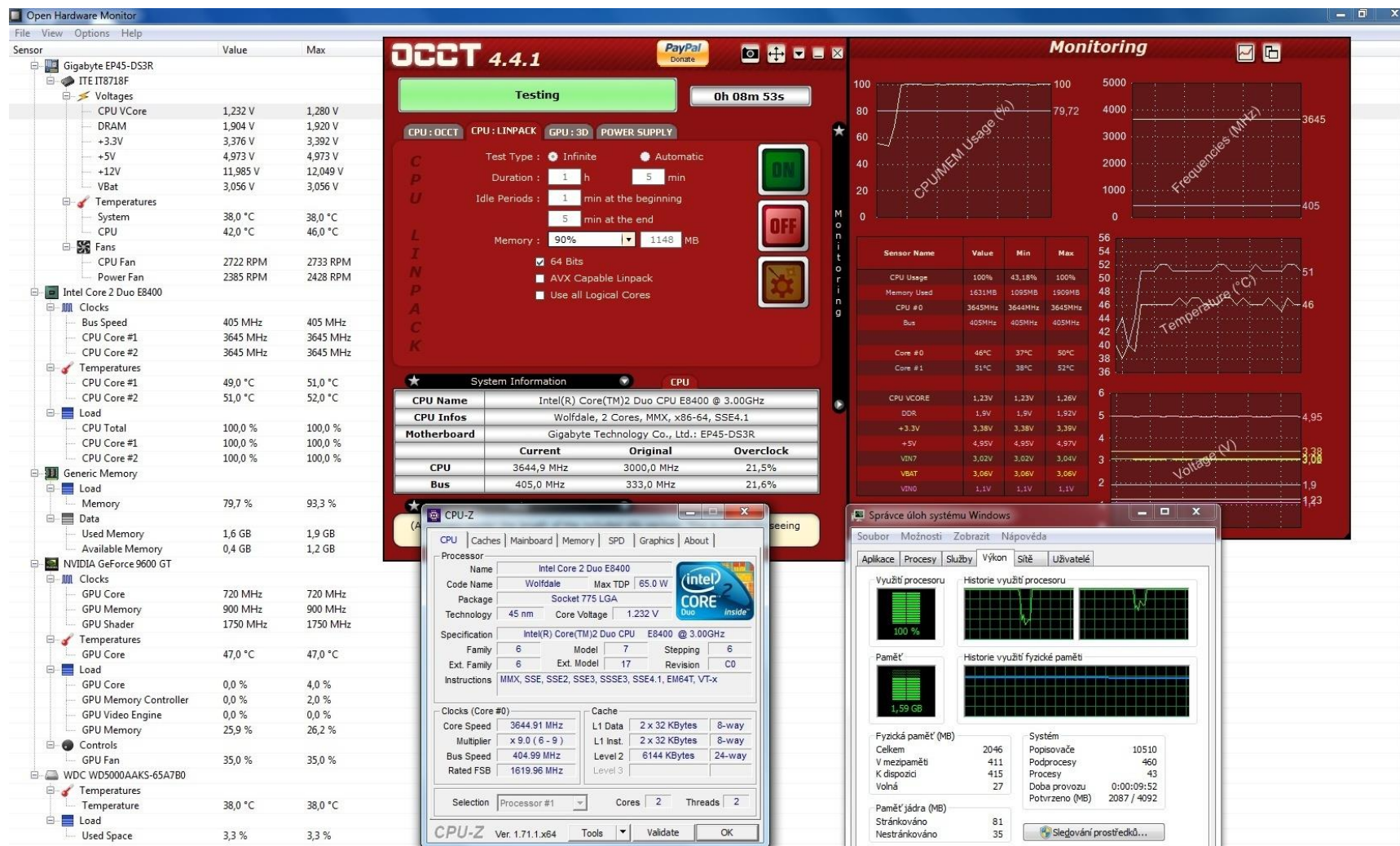
Obrázek 45: Vodní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.0GHz



Obrázek 46: Vodní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.0GHz

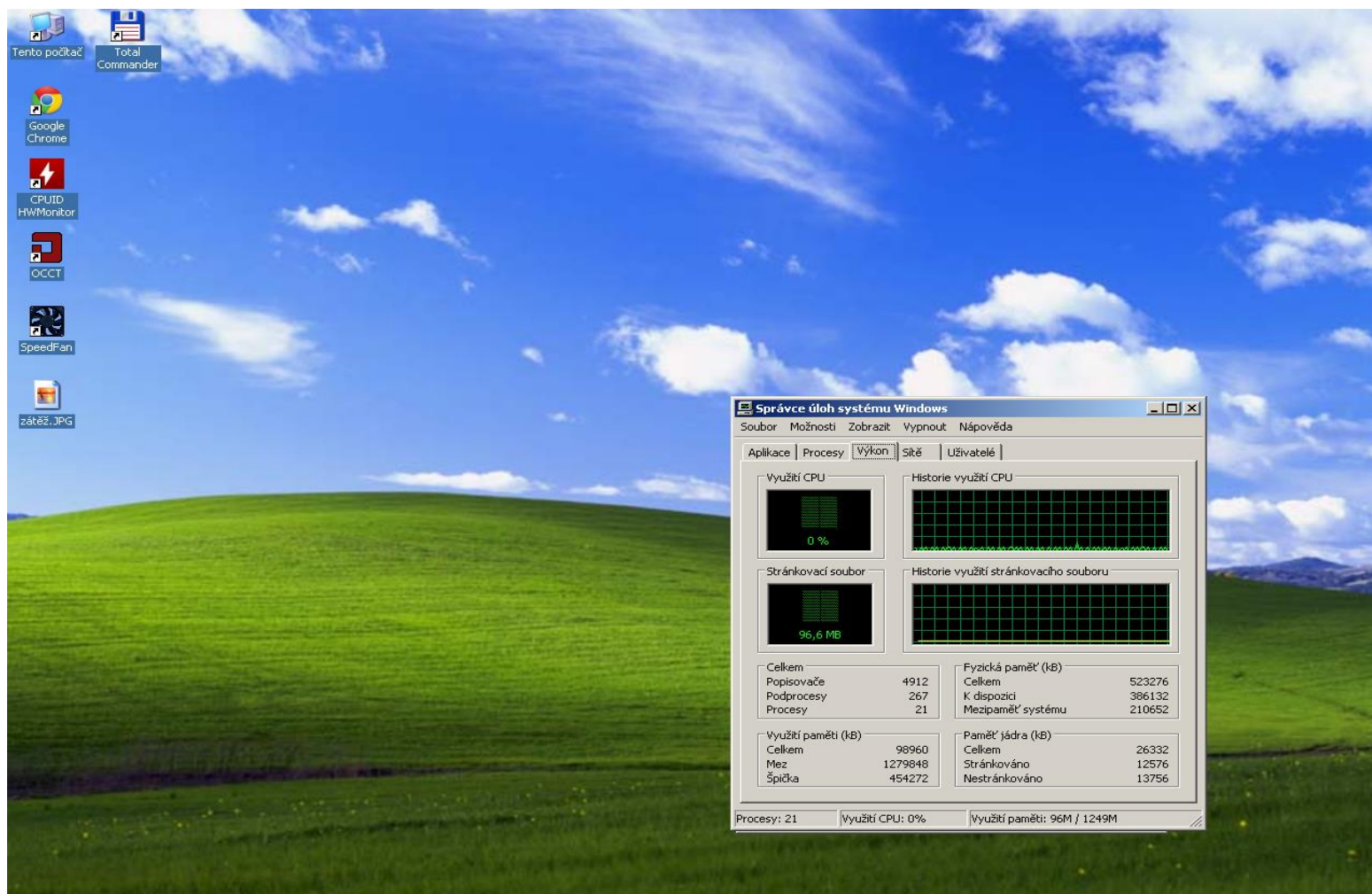


Obrázek 47: Vodní chlazení procesoru bez zátěže na frekvenci 3.6GHz



Obrázek 48: Vodní chlazení procesoru se zátěží na frekvenci 3.6GHz

PŘÍLOHA 2 – EXPERIMENTÁLNÍ CHLAZENÍ POČÍTAČE OLEJEM



Obrázek 49: Počítač Dell Optiplex GX240 bez zátěže



Obrázek 50: Počítač Dell Optiplex GX240 se zátěží