

Problematika chlazení počítačových komponent

Ondřej Karlík, Fakulta Elektrotechnická ČVUT, Praha

karlio1@fel.cvut.cz

Anotace

Práce popisuje základy komplexního problému chlazení moderních počítačových komponent. Od počáteční analýzy toho co a proč chladit se postupuje k nastínění různých způsobů jak dosáhnout efektivního chlazení, s důrazem na obecnost popisovaných řešení.

Klíčová slova

hardware, chlazení, chladiče

Úvod

Osobní počítače prodělaly v posledních několika desítkách let dramatický rozvoj. Pozornost veřejnosti se vždy spíše automaticky zaměřovala na novinky z oblasti procesorů, grafických karet, nové a větší monitory a rychlejší paměti.

Chlazení stálo vždy v pozadí a až do nedávné doby neprobíhal v této oblasti systematický výzkum a vývoj. Přitom adekvátní chlazení je nutné pro běh moderních procesorů už nejméně deset let. Během této doby vždy příchod modernější a rychlejší architektury s sebou přinesl i nárůst spotřeby a bohužel i hluku.

1. Co a proč chladit

1.1. Zahřívání čipů

Drtivá většina energie, kterou počítač spotřebuje, padne na odpadní teplo. Hlavní centra, kde se elektrická energie mění na teplo, jsou výpočetní čipy (procesor - CPU, grafické jádro - GPU, čipová sada, ...). Čip, který má příkon desítky wattů, nevyprodukuje z energetického hlediska nic víc než zlomky wattu výkonu (v podobě signálů, které generuje), veškerý ostatní příkon padne na zahřívání polovodiče protékajícím proudem.

Miliony tranzistorů pracujících na gigahertzových frekvencích v moderních čipech potřebují desítky ampérů elektřiny ke svému provozu, a i přes nízké napájecí napětí (cca 1 volt) jsou některé dnešní dvoujádrové procesory schopné stálého tepelného výkonu okolo 100 wattů.

Zahřívání čipů dnes tvoří většinu počítačem spotřebované energie, ale zdá se, že se situace začíná obracet. Minimálně v oblasti procesorů došlo ke zcela jasnému zvratu a nové procesory se již navrhuje s důrazem i na spotřebu. Orientační špičkový výkon některých čipů je uveden v následující tabulce:

Součástka	Typ	Tepelný výkon
Procesor	Pentium III	40 W
	Pentium 4	150 W
	Core 2 Duo	65 W
	Athlon XP	75 W
	Athlon 64	90 W
Grafická karta	Geforce 8800GTX	270 W
	Geforce 7800GTX	80 W
	Geforce 6600GT	48 W
	Radeon X1900XTX	120 W
	Radeon X1600XT	40 W

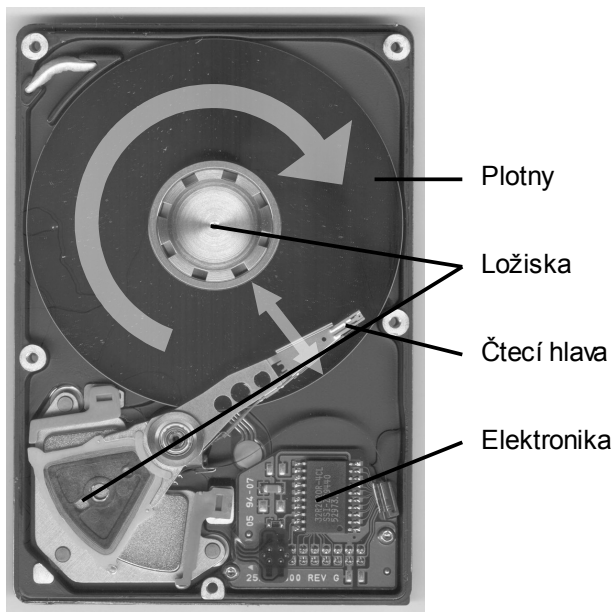
Tabulka 1: Tepelné výkony vybraných čipů

1.2. Zahřívání mechanických součástí

Jediné kritické místo v počítači, které se může nebezpečně zahřívát vlivem tření, je pevný disk. Optická mechanika může sice krátkodobě vyprodukovat větší teplo, ale jejím součástkám to nevadí, navíc jde vždy o krátké špičky.

Pevný disk naopak produkuje teplo neustále. Jeho první příčinou je mechanické tření v ložiskách ploten, které se ve většině moderních stolních počítačů otáčejí rychlostí 7200 rpm (revolutions per minute - otáček za minutu), u notebooků pak většinou 5400 rpm. Druhou

příčinou je tření při velmi rychlých pohybech hlavy disku během čtení či zapisování.



Ilustrace 1: Stavba pevného disku

1.3. Zahřívání napájecích součástek

Moderní počítač vyžaduje pro svůj chod stejnosměrné napětí 3,3 V, 5 V a 12 V. To se vyrábí v počítačovém zdroji ze střídavého napětí 230 V z rozvodné sítě. I přes důmyslnou konstrukci vysokofrekvenčních spínaných zdrojů s sebou tento proces stále přináší poměrně vysoké energetické ztráty, které se projeví opět ve formě odpadního tepla.



Obrázek 1: Vnitřek počítačového ATX zdroje. Zřetelně je vidět 120 mm ventilátor, který chladí všechny součástky uvnitř, a 2 hliníkové chladiče, mezi ostatními součástkami.

Další, ne až tak známým zdrojem tepla související s transformací napětí, jsou napájecí

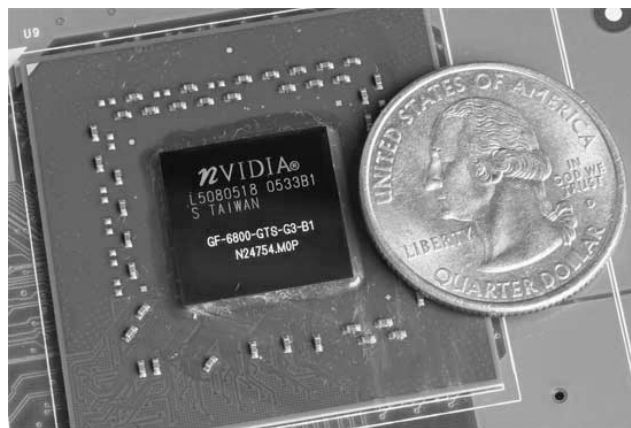
kaskády procesoru a grafické karty. Napětí na těchto součástkách musí být totiž extrémně přesné, a proto se vyrábí v bezprostřední blízkosti, tj. přímo na grafické kartě, resp. základní desce. U nejvýkonnějších grafických karet je chlazení MOSFETů napájecí kaskády již samozřejmost, u základních desek k tomu přistupuje čím dál tím více výrobců.

2. Problémy při chlazení

2.1. Koncentrace tepelného výkonu

I velmi výkonný počítač při plné zátěži nemusí mít celkovou spotřebu vyšší než například 300 W a jeho chlazení tak vypadá jako velmi jednoduchá záležitost. Není tomu tak z toho důvodu, že 70% tohoto výkonu může být vyzářeno z plochy velké jako poštovní známka.

Jedním z klíčových pilířů výkonu počítačů je polovodičová výrobní technologie, která umožňuje produkovat tranzistory o délce desítek nanometrů. Díky tomu se potřebné desítky milionů tranzistorů vměstnají do čtverce o rozměrech řádově 10×10 mm. Chladič potom přes jedinou styčnou plochu o obsahu cca 100mm^2 musí být schopen rozptýlit až 100 W výkonu.



Obrázek 2: Porovnání čipu nVidia GeForce 6800 GTX a drobné mince

Tento konkrétní čip má špičkový výkon 55 wattů. Veškeré teplo se musí odvést přes jeho horní plochu a teplota čipu by dlouhodobě neměla přesahovat 70 – 80 °C.

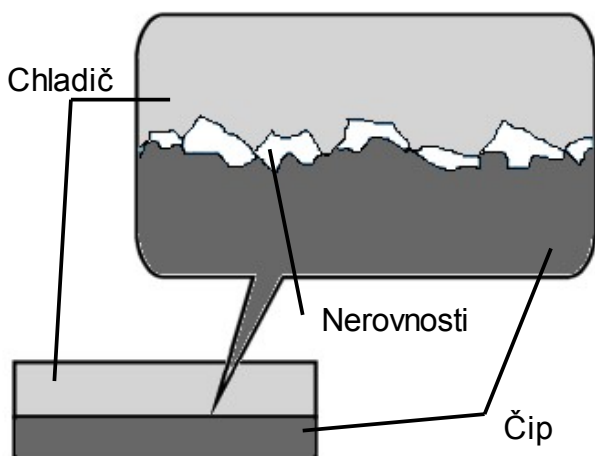
2.2. Nízká cílová teplota

S dosaženou hustotou integrace souvisí další nepříjemný problém – tranzistorům škodí vyšší teplota. Přehřátí se může projevit

okamžitou nestabilitou počítače, v dlouhodobějším měřítku může přehřívání vést k degradaci a až zničení čipu.

Jaké teploty škodí se nedá přesně říci, například firma AMD pro každý svůj procesor individuálně udává maximální teplotu, kterou nesmí během provozu překročit. Určování teploty procesoru je ale také velmi obtížné. Skoro každá metoda měření dává diametrálně odlišné výsledky, navíc existuje problém lokálního přehřívání, kdy jednotlivé části čipu se mohou lišit teplotou až o desítky stupňů.

Tento požadavek ovlivňuje konstrukci chladičů nejvíce. Pro dosažení co nejnižší teploty se styčné plochy chladiče s čipem vybrušují do zrcadlového lesku a navíc se používá teplovodivá pasta, která vyplní vzduchové kapsy mezi nerovnostmi povrchů a dále zvýší teplotní vodivost přechodu.



Ilustrace 2: Přechod mezi chladičem a čipem
Zdánlivě rovný povrch čipu a chladiče může být ve skutečnosti plný děr

2.3. Hluk

Dalším problémem, který se až donedávna neřešil, je hluk. Aktivní ventilátory přišly nenápadně cca před 10 lety. Postupem času bylo potřeba zvedat průměr a rychlost lopatek, až nastala doba kdy průměrný počítač byl hlučnější než vysavač a nikdo se nad tím nepozastavoval. Pak si ale výrobci konečně uvědomili, že na trhu je početná skupina lidí, která si za tichý provoz připlatí, a začala se soustavně řešit otázka tichého chlazení. Dnes už není problém uchládit výkonný počítač nehlukně a potřebné chladiče, dříve dostupné pouze v Německu nebo dokonce

jen v USA, se prodávají ve všech českých počítačových obchodech.

3. Způsoby chlazení

3.1. Obecně

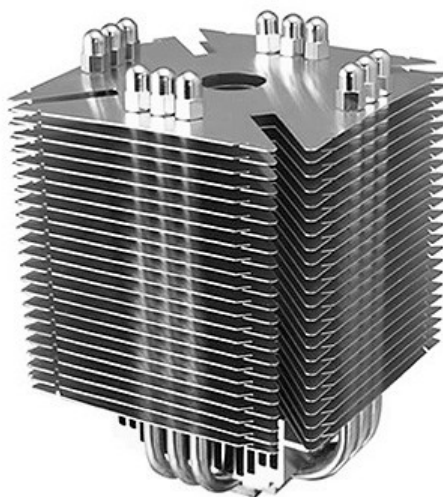
Základním využívaným fyzikálním procesem v chlazení je samovolné vedení tepla mezi různě teplými plochami podle následujícího vzorce:

$$Q = \lambda \cdot S \frac{t_2 - t_1}{d} \cdot \tau$$

Kde Q je přenesené teplo, lambda je součinitel tepelné vodivosti, S je plocha vodiče, t_1 a t_2 teploty na obou koncích, d vzdálenost mezi konci, a tau čas.

3.2. Vzduchové pasivní

Základním přínosem pasivních chladičů je zvětšení plochy, kterou čip odevzdává teplo do okolí pomocí kovového dílu, který pevně a přesně dosedne na čip či součástku (v případě moderních procesorů je na jádře ještě napevno přidělaný kovový plát, tzv. heatspreader, který zvětšuje kontaktní plochu s chladičem, ale především brání fyzickému poškození jádra). Pro dosažení maximální plochy vyzařování tepla do okolního vzduchu mají chladiče vždy více či méně hustá žebra.

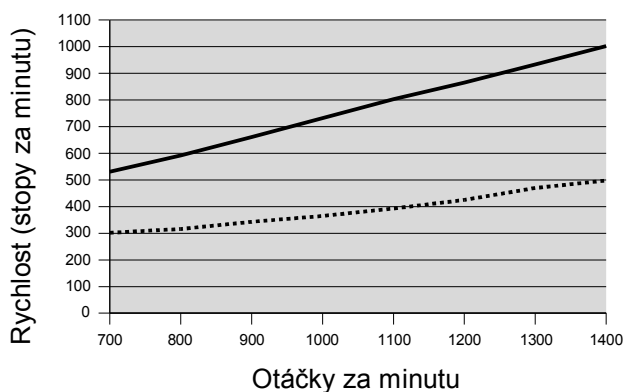


Obrázek 3: Chladič Scythe Ninja
Masivní žebrování v kombinaci s technologií heatpipe dokáže pasivně uchládit mnoho procesorů. Nevýhodami tohoto chladiče jsou ale velké rozměry a hmotnost přesahující oficiální nosnost základních desek.

Ačkoliv použitím pasivního chladiče se teplota čipu drasticky sníží, nejde tímto způsobem uchladiť zdaleka všechny moderní procesory a grafické karty. Důvodem je, že vzduch v těsném okolí chladiče se poměrně rychle ohřeje, a samovolná cirkulace nestačí přivádět nový studený. Proto každému pasivnímu chladiči velmi pomůže i jen slabý, nepřímý proud vzduchu z nějakého ventilátoru uvnitř skříně. Idea počítače bez jediného ventilátoru je pak prakticky nereálná.

3.3. Vzduchové aktivní

Aktivní chladič vznikne z pasivního připevněním ventilátoru tak, aby proud vzduchu směřoval přímo mezi kovová žebra. Prudce se tím zvýší výkon, ovšem za cenu hluku. Ten se dá naštěstí snížit použitím kvalitnějších ventilátorů, preferováním většího průměru lopatek před rychlostí otáčení, vhodným tvarem žebor, atd.

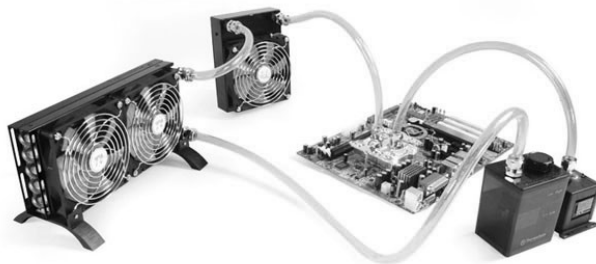


Graf 1: Závislost intenzity proudu vzduchu na otáčkách pro dva 120 mm ventilátory
Jde vidět, že výkon ventilátoru je bohužel neúprosně závislý na otáčkách, a tedy pro vyšší výkon jsou potřeba vyšší otáčky a tím i vyšší hluk, ovšem volbou správného výrobku lze hluk drasticky omezit. Ventilátor znázorněný plnou čarou (Papst) má prakticky dvojnásobnou účinnost, než ventilátor znázorněný čárkovaně (Arctic Fan)

3.4. Vodní

U vodního chlazení se teplo z pasivní kovové části nepředává přímo vzduchu, ale odvádí se nejprve na proudící kapalinu (nejčastěji destilovaná voda). Kapalina se ohřeje a přenáší teplo do radiátoru, kde se zpětně ochladí. Radiátor má pasivní kovovou část s žebry, přes které se teplo rozptýlí do okolního vzduchu. Pracovní kapalina koluje v uzavřeném systému a celý proces se opakuje.

Výhodou je, že teplo se pomocí kapaliny dá transportovat na velké vzdálenosti, například mimo skříně, a při dostatečně velkém radiátoru nejsou potřeba ani žádné ventilátory. Taktéž dosažitelné teploty jsou nižší než u většiny vzduchových chladičů. Naprosto bezhlučný ale systém stejně není, protože je potřeba minimálně pumpa pro zajištění koloběhu náplně. Na trhu jsou jak komerční předpřipravené sety, tak jednotlivé díly, ze kterých si každý může sestavit řešení na míru.

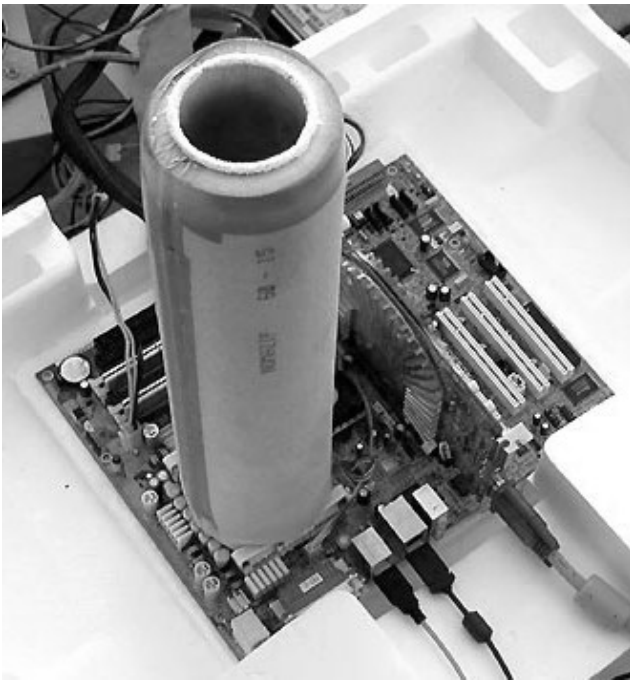


Obrázek 4: Komerční set vodního chlazení Thermaltake
Chladičí médium projde postupně chladičem na procesoru, pumpou, zásobníkem, dvěma radiátory, a poté se vrací zpět do chladiče. Efektivnější systémy chladí více komponent najednou.

3.5. Speciální

Kromě uvedených hojně používaných systémů chlazení existují ještě další, výkonnější způsoby, které jsou ale málo praktické na to, aby byly použitelné na něco jiného než experimenty několika málo nadšenců. Notoricky nejznámější speciální instalace je chlazení tekutým dusíkem. Při jeho použití jsou komponenty typicky mimo skříně, deska leží vodorovně na stole a je na ni přidělán válec, do kterého se dolévá dusík. Zespod válce je chlazená součástka.

Potřeba dolévat dusík samozřejmě diskvalifikuje jakékoliv dlouhodobější použití, a tento systém se používá pouze pro extrémní přetaktování a následné pokoření rekordů v některém z testů výkonu. Existují i další způsoby, jak dosáhnout nižší než pokojové teploty, a to dlouhodobě, například Peltierův článek, nebo výparnickové chlazení, ovšem tyto systémy s sebou nesou problém kondenzace vodních par, vysokou pořizovací cenu, a především extrémně vysokou spotřebu energie na samotné chlazení (až stovky wattů oproti jednotkám wattů pro běžné ventilátory).



Obrázek 5: Chlazení procesoru dusíkem

3.6. Využití jednotlivých metod

Typicky chceme pro danou součástku použít to nejjednodušší a nejtišší chlazení, které ji ještě zvládne uchladiť. Proto se běžně nepoužívají žádné speciální konstrukce, protože nejsou potřeba, a i vodní chlazení je záležitost spíše pro nadšence, respektive pouze jejich část.

Stejně tak ventilátory se používají pouze tam kde je to nezbytné, čili v počítačovém zdroji (i když to tak na první pohled nevypadá, i v něm jsou větší či menší hliníkové žebra, na které jsou přilepeny ty nejžhavější součástky), procesor, a výkonnější grafické karty. Ty méně výkonné grafické karty si vystačí pouze s pasivním chladičem, stejně jako chipsety (to, že spousta chipsetů má několikamilimetrový ventilátor, je určeno spíše cenovou politikou výrobců, pro které je levnější přidat malý nekvalitní ventilátor, než vymýšlet masivnější kovový chladič).

Další komponenty, jako například MOSFETy napájecích kaskád CPU a GPU, paměti RAM, nebo pevné disky, mohou být chlazeny pasivními chladiči, ale většinou to není nutné.

Závěr

Z historického hlediska se dá uvažovat o tom, že v oblasti chlazení nastal určitý zlom. Na začátku minimální problém postupně rostl tak, jak rostla spotřeba komponent, a vyvrcholil před několika lety (uvedením procesorů Intel Pentium 4, které mají spotřebu až 150 W). V té době běžně dodávaný chladič s procesorem měl nepřijatelný hluk a procesor nedokázal efektivně uchladiť. Alternativy byly drahé a špatně sehnatelné.

Výrobci procesorů i chladičů se však poučili, každá další generace CPU měla menší spotřebu, a na trhu se začaly objevovat kvalitní a levné chladiče důmyslných konstrukcí. Obdobná situace nastala i u grafických karet. Problém chlazení nevyvymizel, ale naštěstí se už dnes dá lehce a efektivně řešit.

Použitá literatura:

- [1] en.wikipedia.org
online encyklopedie zdarma
- [2] svethardware.cz
online magazín o hardware
- [3] pctuning.cz
online magazín o počítačích