



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TELES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

SNÍŽENÍ HLUKU POČÍTAČE ZÁMĚNOU VZDUCHOVÉHO CHLAZENÍ ZA CHLAZENÍ KAPALINOVÉ

NOISE CONTROL OF COMPUTER-SUBSTITUTION OF AIR VENTILATOR WITH LIQUID COOLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR DANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. RNDr. KAREL PELLANT, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Daněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Snížení hluku počítače záměnou vzduchového chlazení za chlazení kapalinové

v anglickém jazyce:

Noise control of computer-substitution of air ventilator with liquid cooling

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diskuse možností snižování hluku počítačů pomocí pasivních protihlukových opatření tj.změnou použitím zvukoizolačních vrstev, pryžových podložek pod uchycením ventilátorů apod. Návrh a provedení záměny chlazení mikroprocesoru pomocí ventilátoru za chlazení kapalinové s nuceným oběhem.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracování rešerše dostupné literatury v oblasti řešeného problému
- 2) Rozbor možných protihlukových opatření v rámci vnitřního prostoru počítače (podkládání pryžových podložek u rotujících částí, obkládání stěn skříně počítače, obkládání vnitřních stěn větrákového tubusu apod.)
- 3) Rozbor možností náhrady chlazení mikroprocesoru ventilátorem za chlazení kapalinové
- 4) Provedení hlukových měření na zvolené konfiguraci počítače. Srovnání hodnot hluku před a po aplikaci protihlukových opatření
- 5) Posouzení účinnosti jednotlivých navrhovaných protihlukových opatření

Seznam odborné literatury:

Huang L., Characterizing computer cooling fan noise. J. Acoust. Soc. Am. 2003;114(6,Pt.1):3189-200

R. Nový: Hluk a chvění. ČVUT Praha 2000

<http://www.root.cz/serialy/pocitac-bezici-vetrajici-spici/>

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

J. Jelinek, Možnosti snížení hluku počítače. BP FSI VUT v Brně 2006

Rodolfo Choque Yahuasi, Použití metody SEA pro řešení hlučnosti výtahu. BP FSI VUT v Brně 2006

Murray Hodgson , a, and Isabella Lia, Experimental study of the noise emission of personal computer cooling fans. Applied Acoustics, Volume 67, Issue 9 , September 2006, Pages 849-863

Vaňková a kol. :Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí. PC-DIR s.r.o., Brno 1995

Mišun, V.,Vibrace a hluk. Skripta FSI VUT v Brně

Nešetřil Č, Modelování šíření zvuku uvnitř počítače. BP FSI VUT v Brně 2008

Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Předložená bakalářská práce se zabývá možnostmi snížení hluku počítačů se zaměřením na náhradu chlazení PC komponent pomocí ventilátorů za chlazení kapalinové. Kromě toho se práce zabývá možnostmi redukce hluku na základě obkládání vnitřních stěn počítačové skříně zvukoizolačními materiály. Pro kvantitativní posouzení zmiňovaných způsobů potlačení hluku jsou provedena vlastní měření pomocí hlukoměru Brüel & Kjaer 2231.

Klíčová slova:

počítač, snižování hluku, ventilátor, vodní chlazení, akustická měření

Abstract:

This bachelor thesis describes the possibilities of reducing computer noise by replacement of computer fan cooling with water cooling. Moreover the efficiency of the application of soundproof materials on inner computer is discussed. The sound-level meter Brüel & Kjaer 2231 is used for quantitative evaluation of proposed suggestions.

Keywords:

computer, noise reduction, ventilator, water cooling, measurement of noise

Bibliografická citace

DANĚK, P. *Snížení hluku počítače záměnou vzduchového chlazení za chlazení kapalinové*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc..

Prohlášení autora o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a na základě uvedené literatury.

V Brně dne 27.5.2011

.....
Petr Daněk

Poděkování

doc. RNDr. Karlu Pellantovi, CSc. za cenné rady při tvorbě této práce.

Obsah

1. Formulace problému a cíle řešení.....	10
2. Úvod.....	11
2.1. Zvuk a jeho vlastnosti.....	11
2.2. Akustický tlak a jeho hladina.....	13
2.3. Vnímání zvuku člověkem.....	14
2.4. Zdroje hluku v počítači.....	16
2.5. Hlučnost počítače s ohledem na způsob jeho využití.....	17
3. Rozbor hluku jednotlivých částí PC a možných protihlukových opatření.....	18
3.1. Počítačová skříň.....	18
3.2. Zdroje napětí.....	21
3.3. Heatpipe – tepelné trubice.....	22
3.4. Chladiče a ventilátory.....	22
3.5. Údržba.....	24
3.6. Pevné disky.....	25
3.7. Dodatečné odhlučnění.....	27
4. Vodní chlazení.....	28
4. 1. Komponenty vodního chlazení.....	29
4.2. Typy vodního chlazení.....	31
4.3. Výhody a nevýhody vodního chlazení.....	32
4.4. Bezpečnost vodního chlazení.....	32
5. Měření.....	33
5.1. Popis měření.....	33
5.2. Zvukoizolační materiály.....	35
5.3. Chlazení procesoru vzduchem pomocí tišší verze ventilátoru.....	37
5.4. Vodní chlazení.....	39
5.5. Další úpravy a shrnutí.....	41
6. Závěr.....	45
Seznam použité literatury.....	46
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	48

1. Formulace problému a cíle řešení

Vývoj nových počítačových aplikací přináší i vyšší nároky na výpočetní výkon počítačů.

U stolních variant PC s výkonným procesorem a grafickou kartou s přídatným napájením nebo dokonce s více těmito kartami zapojenými do páru často nemusí k bezproblémovému chodu PC postačovat ani zdroj o výkonu 500 W.

Uvážíme-li, že počítač jakožto zařízení je stroj s velmi nízkou účinností, pak s ohledem na zákon o zachování energie je jasné, že většina příkonu počítače je bez užitku vyzářena do okolí, a to především ve formě odpadního tepla.

Toto teplo je zapotřebí účinně odvést nejen z jednotlivých komponentů, ale i z celé počítačové skříně, za účelem ochrany PC proti přehřátí, které by vedlo k jeho poškození. Aby k přehřátí nedošlo, je nutné počítačové komponenty dostatečně chladit.

Nejběžnějším způsobem chlazení v dnešní době jsou ventilátory, kterých je k chlazení PC zapotřebí hned několik. Jeden je přítomný ve zdroji, další odsává teplo z pasivního chladiče procesoru, u výkonnějších grafických karet můžeme nalézt i dva a někdy nás nepřekvapí přítomnost ventilátoru i na čipsetu základní desky. Vhodné je také přidat ventilátor pro odvod tepla mimo skříň PC, případně můžeme chladit i pevné disky.

Tento typ chlazení však produkuje nepříjemný hluk. Dlouhodobá expozice hluku uživatele obtěžuje a má na jeho organismus negativní účinky. Člověk je unavený, ve stresu a nemůže se soustředit na práci. Tím klesá i jeho produktivita, což je nevhodné i z hlediska ekonomického. I když se výrobci PC sestav v dnešní době u některých svých produktů již snaží pamatovat i na problematiku hluku, mnohdy je to na úkor výkonu, ale přesto se jim nedaří vyhovět doporučení Světové zdravotní organizace, která doporučuje, aby maximální hladina hluku nepřesáhla hladinu 35 dB [1].

Základní orientací práce je tedy analyzovat možnosti redukce zmíněného hluku a vzhledem k tomu, že nejlepším protihlukovým opatřením je hluk vůbec nevytvářet, bude též prověřena možnost záměny chlazení vzduchem za chlazení vodní.

Pro kvantitativní posouzení zmiňovaných způsobů potlačení hluku jsou provedena vlastní měření pomocí hlukoměru Brüel & Kjaer 2231.

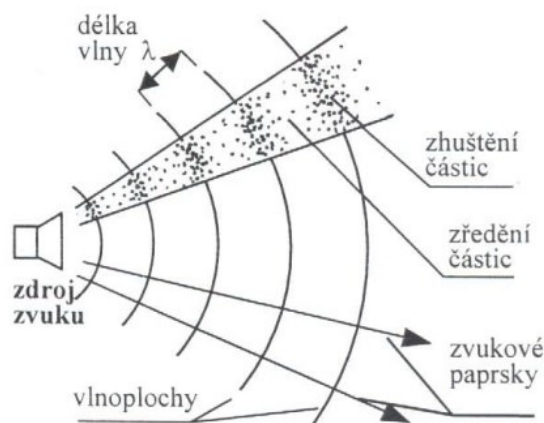
2. Úvod

2.1. Zvuk a jeho vlastnosti

Zvukem nazýváme mechanické vlnění, které se od svého zdroje šíří ve formě vlnoploch přes libovolné pružné prostředí konečnou rychlostí. Ovšem zatímco zvuková vlna se pohybuje, tak samotné prostředí, které ji přenáší, zůstává na místě, protože zvuk se přenáší elastickými silami částic, které v tomto prostředí pouze kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Ve srovnání s elektromagnetickým vlněním se tedy zvuk nedokáže šířit ve vakuu. [3]

Mechanické vlnění může být buď podélné, nebo příčné. Šíření zvuku podélným vlněním, rozumíme situaci znázorněnou na obrázku 1 [3]. Částice prostředí zde oscilují mezi dvěma vlnoplochami, radiálně kolem svých rovnovážných poloh, jak naznačují šipky kóty, znázorňující délku vlny, tedy podélně se zvukovými paprsky, jež vyznačují směr šíření zvuku od zdroje. U plynů a kapalin, které jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti, se může vyskytovat pouze podélné šíření vlny. U pevných látek je však možná též přítomnost vlnění příčného, kdy je kmitání částic na směr šíření vlny kolmé. Je to možné díky tomu, že pevné látky jsou pružné nejen v tahu a tlaku, ale též ve smyku.

Pokud je pro posluchače zvuk nepříjemný nebo rušivý nazýváme jej hlukem. Záleží tedy na subjektivním posouzení člověka, jaký vztah ke konkrétním zvukům má. [5]



Obr. 1 Šíření akustické vlny od bodového zdroje

Vlnoplocha představuje geometrickou oblast na níž v daném okamžiku kmitají všechny částice se stejnou fází. Obecně mohou mít vlnoplochy jakýkoli tvar. Jedná-li se o izotropní prostředí, ve kterém rozruch postupuje stejně rychle do všech směrů, můžeme rozlišovat dva základní typy, jimiž jsou vlnoplochy kulové a rovinné. Vlnoplochy kulové se vyskytují v blízkosti bodového zdroje, který je menší než vlnová délka šířícího se vlnění. V případě, že se nacházíme od bodového zdroje natolik daleko, že lze kulovou výseč aproximovat za rovinu nebo je zdrojem akustického vlnění plošný zdroj, hovoříme o vlnoploše rovinné. [3] Vzdálenost mezi vlnoplochami je možno popsát pomocí vlnové délky.

Vlnovou délkou lze u podélného vlnění definovat jako vzdálenost mezi dvěma sousedícími maximálními zhuštěnými kmitajícími částic pružného prostředí. U vlnění příčného takto označujeme nejmenší vzdálenost, po které se již vlnění opakuje, jinými slovy vzdálenost dvou nejbližších bodů, jež kmitají ve fázi. Dáme-li vlnovou délku do relace s časem, lze o ní také hovořit, jako o vzdálenosti, kterou akustická vlna urazí za dobu jednoho kmitu. Potom pro podélné i příčné vlnění platí následující vztah: [5], [3]

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde:	λ	- vlnová délka	[m]
	c	- rychlost zvuku	[m·s ⁻¹]
	T	- perioda (doba jednoho kmitu)	[s]
	f	- kmitočet (frekvence vlnění)	[Hz]

Rychlost zvuku velmi závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí, kterým se dané akustické vlnění šíří. Zmíněnou závislost lze popsat vztahem:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2)$$

kde:	K	- modul objemové pružnosti	[Pa]
	ρ	- hustota prostředí	[kg·m ⁻³]

Přičemž hustota prostředí a tedy i jeho částic představuje ve vztahu vliv kinetické energie a souvisí tak s jejich setrvačností. Proto má hustota prostředí na přenosovou rychlost zvuku negativní vliv. Modul objemové pružnosti ovšem představuje energii potenciální a rychlost zvuku naopak zvyšuje. Pro vzduch a další plynné látky lze zmíněný modul dále definovat podle vztahu 3 jako veličinu, která udává vliv periodické změny tlaku (tvořené v malých oblastech průchodem akustické vlny) na poměrnou změnu objemu částic.

$$K = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V} \quad (3)$$

Pro konkrétní představu o hodnotách rychlosti zvuku alespoň v nejběžnějších situacích předkládám následující tabulku: [2]

Tab. 1. Rychlost zvuku

Prostředí	v [m·s ⁻¹]	Prostředí	v [m·s ⁻¹]	Prostředí	v [m·s ⁻¹]
<i>Plyny¹</i>		<i>Kapaliny¹</i>		<i>Pevné látky¹</i>	
Vzduch (0 °C)	331	Voda (0 °C)	1402	Ocel	5941
Vzduch (20 °C)	343	Voda (20 °C)	1482	Žula	6000
Helium	965	Mořská voda ²	1522	Hliník	6420
Vodík	1284				

¹ při 0 °C a tlaku 1 atm, pokud není uvedeno jinak.

² při 20 °C a slanosti 3,5 %.

2.2. Akustický tlak a jeho hladina

Při šíření akustických vln v plynném prostředí za pomoci jeho podélně kmitajících částic dochází k periodickému houstnutí a ředění koncentrace jejich výskytu na elementární jednotku objemu. Tento jev lze navenek pozorovat jako kolísání tlaku kolem jeho počáteční referenční hodnoty, kterou pro šíření vzduchem nazýváme jako barometrický tlak. Rozdíl mezi referenční a celkovou hodnotou tlaku, která již zahrnuje zmíněné kolísání, potom nazýváme jako akustický tlak a jeho základní jednotkou je Pascal [Pa] [3]. Akustický tlak je hlavním atributem, jež ovlivňuje vnímání hlasitosti člověkem. Je tedy vhodné uvést některé jeho hodnoty do souvislosti s odpovídajícími situacemi tak, jak to činí první dva sloupce následující tabulky.

Tab. 2 Přehled hodnot akustického tlaku (p) a jeho hladiny (L_p) v různých situacích [7], [8].

Zdroj zvuku, situace u dané hlasitosti	p [Pa]	L_p [dB]
Práh slyšitelnosti	0,000020	0
Pád špendlíku na podlahu	0,000063	10
Šelest listí	0,0002	20
Šepot	0,002	40
Hovor	0,02	60
Vysavač (vzdálený 1 m)	0,2	80
Diskotéka	2	100
Rockový koncert, proudový motor (vzdálený 100 m)	20	120
Práh bolesti	112,5	135

Jak je vidět, rozsah hodnot akustického tlaku, který je člověk schopen vnímat svým sluchem, je opravdu rozsáhlý. Pracovat však s takovýmto rozsahem hodnot není z hlediska matematického zápisu příliš vhodné. Možnost srovnání vzájemného odstupu různých hlasitostí je také poněkud obtížná, neboť lidské ucho nereaguje na zvukové podněty lineárně. Z těchto důvodů se přistoupilo k zavedení tzv. hladiny akustického tlaku. Jedná se o logaritmické vyjádření akustického tlaku, které je popsáno vztahem 4.

$$L_p = 20 \log \frac{P}{p_0} \quad (4)$$

kde: L_p - hladina akustického tlaku [dB]
 p - akustický tlak [Pa]
 p_0 - referenční hodnota tlaku [Pa]

Hodnoty akustického tlaku, které jsou v poměru jedna k milionu, lze zavedením hladiny vměstnat do rozsahu 120 dB (viz třetí sloupec tabulky 2). Přičemž logaritmická povaha hladin zachovává vysokou přesnost pro malé hodnoty a přesnost se vytrácí až s jejich nárůstem.

To však nevádí, protože u vysokých hodnot tak vysokou přesnost již stejně nepotřebujeme, neboť člověk je i za laboratorních podmínek schopný rozpoznat rozdíl hlasitosti právě 1 dB, jedná-li se o samostatný tón. U běžného prostředí a zvuků rozeznáváme rozdíl v hlasitosti až od 3 dB. Výhodou logaritmické podstaty hladin je také lepší možnost srovnání vzájemného odstupu dvou signálů. Například nárůst hlasitosti z 25 dB na 35 dB je člověkem subjektivně vnímán stejně jako její navýšení ze 70 dB na 80 dB, přičemž zvýšení hladiny akustického tlaku o 10 dB je většinou lidí posuzováno za zdvojnásobení hlasitosti [7].

Logaritmická povaha hladin však má také jedno úskalí, které se objeví při sčítání hlasitostí dvou zdrojů. Zde musíme mít na paměti, že hladiny nelze sčítat aritmeticky. Pro představu výsledná hladina od dvou stejných zdrojů nebude dvojnásobná, ale jen o 3dB vyšší než jedna z nich (například $2 \times 20 \text{ dB} \neq 40 \text{ dB}$, ale 23 dB). V případě, že sčítané hladiny nejsou stejné, řeší situaci při sčítání tabulka 3. [8]

Tab. 3 Sčítání dvou hladin zvuku formou přírůstku k vyšší hladině

Rozdíl hlasitosti dvou zdrojů zvuku v dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Přírůstek k vyšší hladině v dB	3	2,5	2	2	1,5	1	1	1	0,5	0,5	0

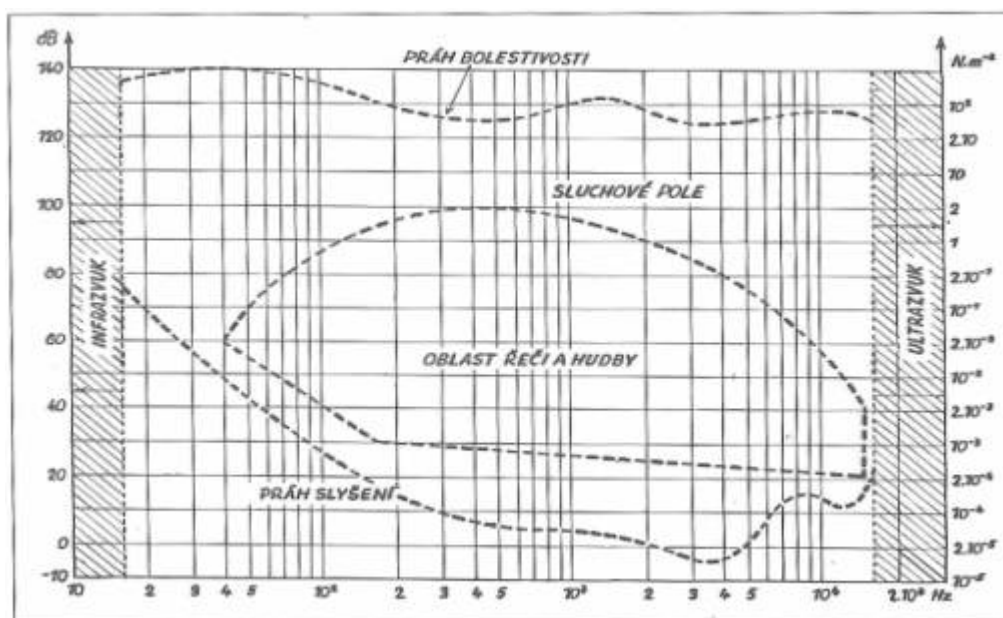
Vidíme, že je-li rozdíl mezi dvěma hladinami 10 dB či více, můžeme pro jejich součet zapsat velikost vyšší hladiny beze změny.

2.3. Vnímání zvuku člověkem

Člověk může vnímat akustické vlny buď sluchem nebo hmatem a to v závislosti na frekvenci. Prostřednictvím sluchu je zdravý člověk schopen vnímat zvukové vlny ve frekvenčním rozsahu od 16 Hz po 20 kHz. Pokud je frekvence akustického vlnění nižší než 16 Hz, jsme schopni jej vnímat pouze hmatem a nazýváme jej jako infrazvuk. A naopak, je-li frekvence vyšší než 20 kHz, nazýváme zmíněné vlnění ultrazvukem [3].

Schopnost vnímat zvuk sluchovým ústrojím závisí kromě frekvence také na jeho hlasitosti. Ta je zdola omezena tzv. prahem slyšitelnosti při kterém začínáme zvuk registrovat a shora prahem bolesti, kdy je hlasitost zvuku již tak vysoká, že vyvolává bolest a zvuky nad touto hlasitostí mohou vést i k nevratnému poškození sluchového ústrojí.

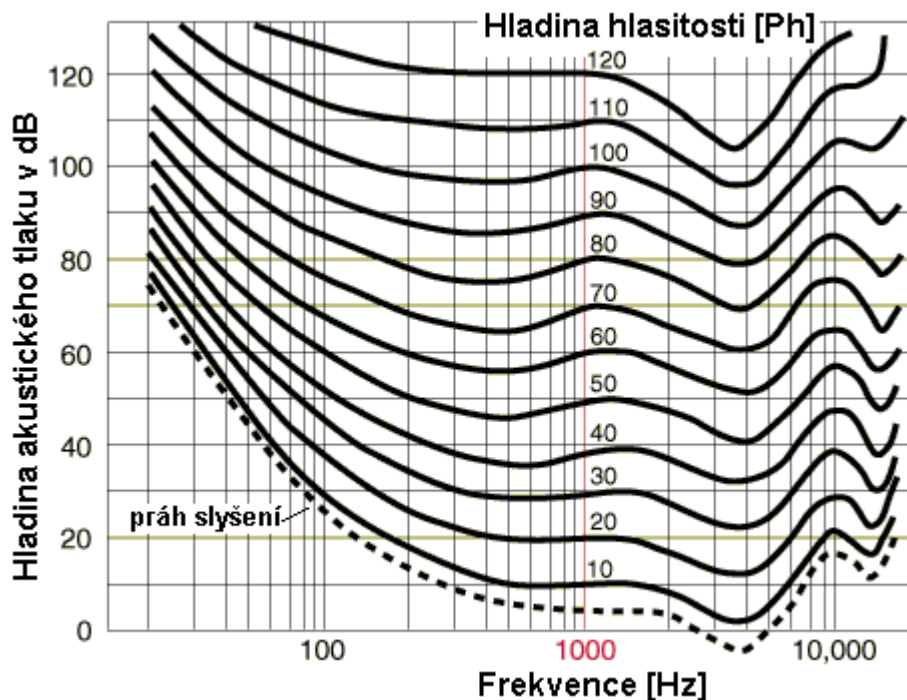
Zmíněná omezení sluchu z hlediska frekvence a hlasitosti spolu utvářejí tzv. sluchové pole.



Obr. 2. Sluchové pole [11]. Nebo Obr. 2. Sluchové pole, převzato z [11].

Citlivost lidského sluchu je nejvyšší kolem 25 roku života a s postupem věku klesá. Dochází zejména ke krácení frekvenčního rozsahu u vysokých frekvencí a posunu prahu slyšitelnosti na vyšší hodnoty hladiny akustického tlaku.

Proto i tvar sluchového pole je do jisté míry individuální záležitostí každého jedince a od idealizované situace na obrázku 2 se bude většinou trochu lišit. Mezi subjektivním vnímáním zvuku a fyzikálními veličinami popisujícími zejména jeho hlasitost neexistuje žádný jednoduchý vztah. [3] Protože míra hlasitosti vnímaná člověkem je silně závislá na frekvenci, byly navrženy tzv. křivky hladin stejné hlasitosti (obrázek 3), které jsou výsledkem velkého počtu měření a vyjadřují subjektivní vnímání hlasitosti čistých tónů člověkem v závislosti právě na jejich frekvenci a hladině akustického tlaku.



Obr. 3. Křivky hladin stejné hlasitosti [10].

Jednotkou těchto hladin hlasitosti je jeden fón [Ph] a jak můžeme vidět s hladinou akustického tlaku v [dB] si odpovídají pouze při referenční frekvenci 1 kHz. Při nižších frekvencích a stejné hladině akustického tlaku je hlasitost ve fonech nižší. Ovšem kolem frekvence 3 kHz je hlasitost naopak vyšší, což je způsobeno ohybem akustických vln kolem hlavy posluchače. Frekvenční závislost hlasitosti s rostoucí hladinou akustického tlaku klesá a křivky hladin stejné hlasitosti jsou protaženější. Ačkoli zmíněné křivky již obstojně popisují vztah mezi subjektivním vjemem člověka a fyzikální realitou, je třeba vždy pamatovat na to, že platí pouze pro poslech jediné samostatně znějící frekvence a pro zvuky více všeobecné nemusí uvedené závislosti tak úplně platit. [10]

Dále lze vyjádřit subjektivní sluchový vjem pomocí stupnice v sonech, kde jeden son odpovídá hlasitosti 40 Ph a mezi hlasitostí N v sonech a hlasitostí L_N ve fonech existuje tento vztah [3]:

$$N = 2^{0,1(L_N - 40)} \quad (5)$$

Protože relace mezi zmíněnými stupnicemi hlasitosti nemusí být ze vzorce každému hned zřejmé, uvádím raději pro názornost ještě následující tabulku některých základních hodnot:

Tab. 4. Relace mezi stupnicí v sonech a fonech

Hlasitost v sonech	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
Hlasitost ve fonech	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130

2.4. Zdroje hluku v počítači

Zdrojem hluku stolního počítače je ta jeho část, ve které je vytvářena akustická energie. Oblast, ve které je lokalizován vznik akustické energie ve většině případů určuje nějaká rotující část uvnitř počítače, která svým pohybem vytváří zdroj hluku.[4]

Hluk se dále šíří na konstrukci skříně a další komponenty až je nakonec vyzářen do okolí.

V počítačové skříně se zpravidla nachází hned několik zdrojů hluku.

Nejčastěji se jedná o ventilátory, pevné disky a optické mechaniky (CD, DVD, Blue-ray).

Ventilátory s konstantními otáčkami produkují hluk stálý, zatímco zmíněné disky, mechaniky a případně ventilátory s proměnnými otáčkami reprezentují hluk sekvenční.

Ať už se jedná o kterýkoli typ, obecně platí přímá úměra, že čím vyšší budou otáčky zmíněných komponent, tím vyšší bude hladina hluku jimi produkovaná.

Podle způsobu vzniku můžeme hluk dále rozdělit do následujících dvou základních skupin.

- mechanický hluk
- aerodynamický hluk

Mechanický hluk

Jedná se o vibrace vznikající rozkmitáním tuhých částí počítače vlivem působení budících sil. Následně se mechanické kmity přenášejí konstrukcí z místa působení sil jak na rozměrnější povrchové plochy, kde jsou vyzářeny v podobě akustické energie do okolí počítače, tak i na ostatní komponenty a do konstrukce základny (podlahy, stolu apod.). Konstrukce skříně je tedy jakýmsi nosným médiem, jež zprostředkovává přenos mechanického kmitání i mezi komponenty počítače, které spolu bezprostředně nesouvisí. Přenos a vyzarování akustické energie není tedy doménou pouze komponent, jež se funkčně nacházejí v poli působení budících sil, ale podílí se na něm i části, které jsou s konstrukcí jen pevně spojeny. V případě, že jsou komponenty ke konstrukci špatně připevněny (nedostatečně dotažené či úplně chybějící uchycující šrouby), vzniká další hluk tím, jak do sebe vibrující části narážejí.

Hlavní příčinou mechanického zdroje hluku mohou být například: [4], [5]

- vůle v uchycení komponentů
- vůle u pohyblivých částí
- nevyváženost rotujících částí
- náhlé změny rychlostí
- vzájemné tření nerovností povrchů

Aerodynamický hluk

Jak uvádí Mišun (2005), *aerodynamický hluk je možno charakterizovat jako zvuk vznikající v důsledku působení proudu vzduchu na okolní obklopující prostředí. Příčinou vzniku hluku není kmitání povrchů těles, ale pohyb vzduchu (tekutiny), ve kterém dochází k prudké změně tlaku vzduchu při proudění např. kolem pevných překážek.*

Aerodynamický hluk u počítačů představuje velmi významnou složkou a zpravidla tak určuje jejich výsledný hluk.

Hlavními zdroji aerodynamického hluku jsou: [4]

- turbulentní nebo pulzující výtok vzduchu z otvorů do klidného prostředí
- turbulentní proudění obtékající překážky v proudícím prostředí
- nestacionární a vířivé proudění vznikající obtékáním pevných těles tvořících překážky
- pulzující proudění prostředí vyvolané rotací listů vrtule ventilátoru

- pohyb pevných těles v nerovnoměrném proudícím prostředí případně přerušování tohoto proudění (sirénový hluk ve ventilátorech)

2.5. Hlučnost počítače s ohledem na způsob jeho využití

Chystáme-li si pořizovat nový počítač měli bychom se nejprve zamyslet nad tím, k jakému účelu bude především používán. Je velký rozdíl, zda bude počítač určen zejména pro hardwarově náročné aplikace, hraní 3D her a podobně, nebo pro běžnou kancelářskou činnost. Jedná se zde tedy hlavně o to, jak velké jsou požadavky na výpočetní a grafický výkon sestavy a jak moc transparentní a nevhodná přítomnost hluku u této sestavy pro uživatele bude. Z tohoto hlediska by bylo počítače možné rozdělit na následující skupiny.

Počítače typu HTPC (Home Theater Personal Computer) se využívají jako multimediální centrum domácího kina. Slouží tedy hlavně pro přehrávání videa a hudby.

Je jasné, že jakýkoli hluk, který by v tomto případě rušil například při poslechu hudby, je doslova nepřijatelný. U tohoto typu využití počítače jsou tedy často kladeny vysoké nároky na jeho nízkou hladinu hluku, které jsou až na hranici slyšitelnosti, zatím co požadavky na výkon bývají spíše průměrné.

Počítače určené pro hraní her, bývají zpravidla kombinací nejvýkonnějších komponent, které byly v době nákupu k dispozici s ohledem na finance, které byl uživatel ochoten do koupě sestavy vložit. Můžeme se setkat i se sestavami, jež pro vyšší výkon využívají také spárované komponenty. Například více HDD pracujících v tzv. RAID (Redundant Array of Independent Disks – vícenásobné diskové pole nezávislých disků), kdy je možné číst a zapisovat jeden soubor dat na větší (sudý) počet disků zároveň, což urychlí práci s daty a tím i načítání systému, aplikací a her. Co možná někoho překvapí, ale v herním světě není žádnou novinkou, je spárování více, a to až čtyřech grafických karet, jež si plochu monitoru pro vykreslování grafiky zpravidla mezi sebe rozdělí. Máme-li v počítači tyto hlučné komponenty zastoupeny hned několikrát, není divu, že celková hladina hluku produkovaná takovouto sestavou bude značná. Tento fakt však nemusí být nutně problémem, přihlédneme-li k tomu, že uživatel tohoto typu PC má často pro tento účel samostatnou místnost a doprovodný zvuk z reproduktorů nebo nasazená sluchátka často vjem hluku počítače výrazně omezí. Tento úhel pohledu je však velmi individuální a ukazuje se, že většina uživatelů by i u tohoto typu PC uvítala méně doprovodného hluku, protože dlouho nasazená sluchátka jsou často nepohodlná, krycí herní zvuk z reproduktorů je nestálý a jeho intenzita při ještě příjemné hlasitosti překryje hluk jen z části.

Pracovní počítače mohou být učitou kombinací předchozích dvou typů. Nároky na hluk bývají podobné nebo lehce benevolentnější než u HTPC. Rozhodujícím faktorem je, aby hluk sestavy svým provozem nejlépe vůbec nenarušoval koncentraci uživatele. Co se týče výkonnostních požadavků, velmi záleží na druhu práce, ke kterému bude PC používáno. Jedná-li se spíše o kancelářskou činnost (psaní e-mailů, dopisů, prohlížení webu), není zapotřebí žádný extra výkon sestavy. Pracujeme-li ovšem s grafikou u složitých 3D modelů, u kterých navíc požadujeme výpočty namáhání a deformací, jsou nároky na výkon počítačové sestavy značné.

Těmto předpokladům je třeba věnovat pozornost již při výběru jednotlivých komponent, protože jakékoli dodatečné úpravy mohou být i poměrně drahé.

3. Rozbor hluku jednotlivých částí PC a možných protihlukových opatření

3.1. Počítačová skříň

Skříň počítače, někdy označovaná jako case, bývá tím prvním, co spatříme při pohledu na počítač jako celek. Proto se během posledních let řada výrobců zaměřila zejména na její designovou stránku, která člověka leckdy upoutá již na první pohled. Někteří výrobci však již nekladou takový důraz přizpůsobit provedení skříně také její co možná nejnižší hlučnosti. Proto je na nás, abychom si při výběru zmíněné skříně dali pozor na provedení určitých jejích částí. První věcí, na kterou bychom se měli při výběru počítačové skříně zaměřit z hlediska hlučnosti, je tloušťka plechu a materiál, z něhož je tato skříň vyrobena.

Nejběžnějším materiálem bývá pozinkovaná ocel, která se podle druhu pozinkování dělí na dva druhy, SECC a SGCC. V prvním případě se jedná o pozinkování elektronickou metodou, v tom druhém případě jde o povrchovou úpravu oceli vzniklou při ponořování plechů do lázně z roztaveného zinku a dalších příměsí na bázi hliníku. Výrobci počítačových skříní uvádějí, že druhý typ by měl být o něco pevnější. Přesněji, že 0,6mm tlustého plechu opracováno metodou SGCC by mělo svojí tuhostí odpovídat plechu o tloušťce 0,8mm při povrchové úpravě metodou SECC. Samotná tloušťka plechu vhodná pro minimalizaci šíření vibrací a dostatečnou tuhost skříně by měla být 1mm a více. V poslední době je také možné se sekat s výrobou skříní ze samotného hliníku, což na první pohled působí velmi luxusně, ale vzhledem k nízké tuhosti tohoto materiálu je tloušťka 1mm naprosto minimální. Hliníková konstrukce je navíc náchylná na přenos vibrací a celková tuhost skříně je většinou nízká. Navíc cena takovýchto skříní může být i víc jak dvojnásobná. Pokud by nás ke koupě takovéto skříně měl náhodou vést fakt, že hliník přeci jen mnohem lépe vede teplo než běžná ocel, je třeba si uvědomit, že samotná konstrukce skříně odvádí teplo pouze z komponentů se kterými je pevně spojena. Z těch výrazněji zahřívajících se jsou to tedy pouze zdroj a pevné disky. Pokud však uvažujeme o opravdu tichém počítači, nejspíš použijeme k uchycení disků nějakou metodu jež zamezuje přenosu vibrací, která ovšem ve většině případů také znemožní i přenos samotného tepla na kostru počítačové skříně. Samotný zdroj má potom povětšinou ventilátor, který jej dostatečně ochlazuje. Z uvedeného tedy vyplývá, že standardní pozinkovaná ocel je z hlediska hlučnosti stále tou nejlepší volbou [18].

Dalším faktorem, který bude dozajista také velmi ovlivňovat hlučnost je typ skříně, respektive její velikost. Mezi základní typy, seřazené podle velikosti od nejmenšího po největší, patří minitower, midtower, middletower a bigtower.



a)



b)

Obr. 4. Typy počítačové skříně, a) Middletower [17], b) desktop [18]

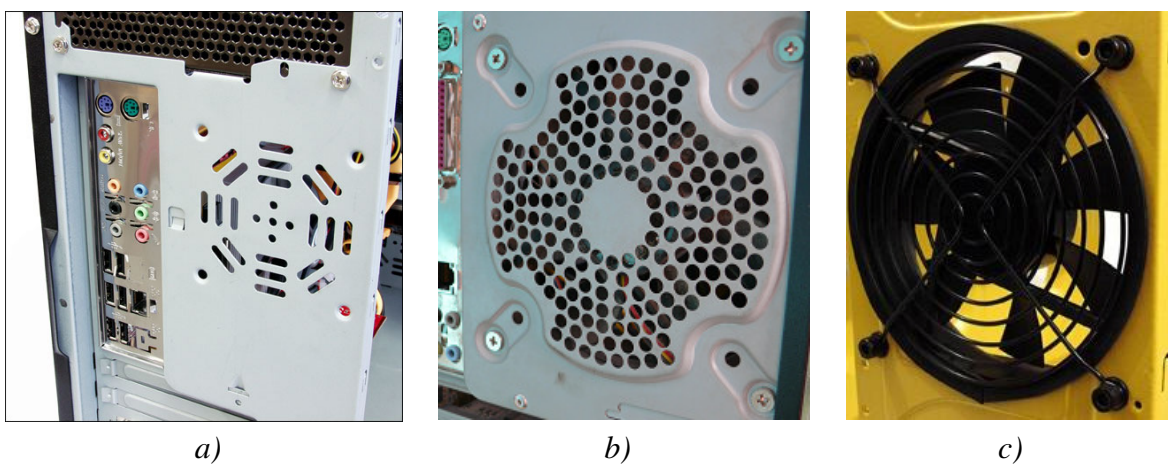
Pro kompletnost je třeba ještě uvést jeden typ, tzv. desktop (obrázek 4b). Na rozdíl od towerů se jedná o počítač umístěný naležato používaný zejména pro umístění pod monitorem. V dnešní době je však tento typ spíše minulostí a proto není třeba se jím nějak detailněji zabývat. Co se týče miditower a middletower jsou tyto dva typy velmi podobné, hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v orientaci zdroje, který je u miditowerů umístěn vertikálně vedle základní desky díky. Zmíněné provedení ovšem velmi znesnadňovalo případné výměny některých komponent vzhledem k překrytí části základní desky zdrojem a hlavně znemožňovalo použití rozměrnějších a tišších chladičů CPU. Proto se počítačové skříně typu miditower již v podstatě neprodávají i když se s tímto označením v některých internetových obchodech můžete setkat a to z důvodu častého zaměňování s typem middletower.

Z hlediska hlučnosti je typ počítačové skříně zásadní zejména tím, kolik poskytuje místa k umístění počítačových komponent. U minitoweru, miditower a desktopu lze předpokládat, že jednotlivé komponenty budou těsně vměstnány vedle sebe, což sníží nejen možnost proudění vzduchu, ale také efektivitu chlazení. Snížená možnost průtoku vzduchu, zvyšuje jeho rychlost, což má za následek také jeho vyšší produkci hluku. Množství překážek, které musí vzduch při své cestě překonat vytváří turbulentní proudění které k celkovému hluku počítače také přispívá. Jak již bylo naznačeno výše, dalším negativním vlivem těsného uspořádání komponent, jsou omezení při úmyslu využít rozměrnějších chladičů, které jednoduše není kam vměstnat. Z tohoto hlediska se jako ideální jeví počítačové skříně typu middletower, které ještě nejsou příliš velké, ale svým komponentům poskytují uvnitř již dostatek místa. Při výběru počítačové skříně však nelze dát pouze na zmíněná označení, protože ta řeší velikost této skříně pouze co do její výšky, podle množství 5,25“ pozic umístěných nad sebou, což ovšem neřeší jak je například skříň hluboká. Tato typová označení tedy slouží pouze k jakémusi nasměrování při hledání konkrétního typu, který je vhodné si ještě pořádně prohlédnout. Ideální stav z hlediska prostornosti počítačové skříně můžeme vidět na obrázku níže [18].



Obr. 5. Prostorná počítačová skříň APlusCase X-Blade [18]

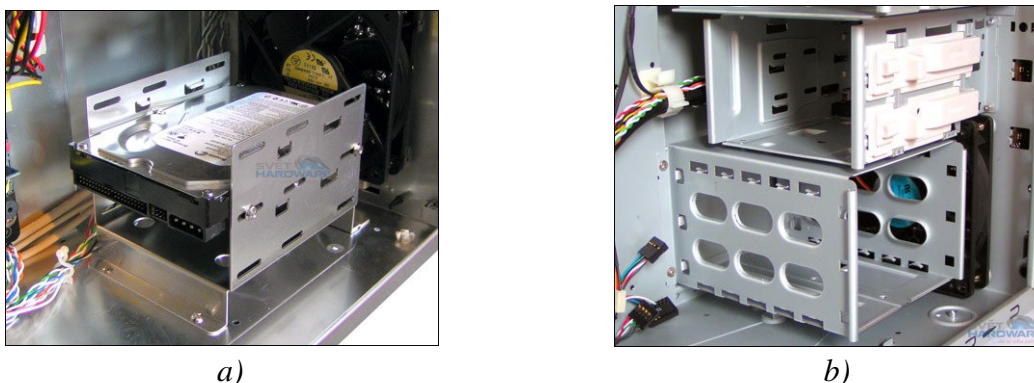
Posledním velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje celkovou hlučnost skříně je kvalita jejího zpracování. Například vnitřní hrany konstrukce počítačové skříně jsou nejenom bezpečnější z hlediska montáže (menší pravděpodobnost, že se o ně říznete), ale také výrazně zvyšují tuhost celé konstrukce. Další věc, kterou bychom si měli při výběru skříně pohlídat jsou mřížky tvořící otvory pro přídavné, tzv. systémové ventilátory. Jejich rozmístění a kvalita zpracování může mít totiž na výslednou hladinu hluku celé sestavy nemalý vliv. Mřížky by měli být pochopitelně rozměrově uzpůsobeny pro instalaci 12cm ventilátorů a jejich provedení by mělo umožňovat dostatečný průtok vzduchu. Z těchto důvodů je provedení znázorněné na obrázku 6a krajně nevhodné. Nejen, že se zde počítá pouze s umístěním malého ventilátoru, ale vzduch je navíc nucen proudit malým počtem drobných otvorů, což způsobuje zvýšení rychlosti jeho proudění a tím i nárůst hlučnosti. Mřížka na obrázku 6b je na tom o poznání lépe, ovšem její provedení stále není ideální. Ostré hrany vyražených otvorů totiž mohou vytvářet tzv. sirénový hluk. Nejlépe je na tom tedy mřížka na obrázku 6c, její provedení ve formě kulatého drátu, riziko vzniku sirénového hluku eliminuje a zároveň poskytuje největší prostor k proudění vzduchu.



Obr. 6. Různé typy krycích mřížek zadního ventilátoru počítačové skříně a) Malá mřížka s nedostatečnými otvory [18], b) mřížka s ostrými hranami, c) správné provedení mřížky [14].

Počet mřížek určených k umístění systémových ventilátorů by měl být uzpůsoben kvalitnímu chlazení. Nejlépe tedy alespoň dvě, jedna v přední části určená k sání a přívodu chladného vzduchu z okolí do vnitřních prostor skříně a druhá na zadní straně, která má pomoci zdroji v odvádění již ohřátého vzduchu z počítačové skříně ven. U předních mřížek, by dále nemělo docházet k přílišnému omezení plastovým krytováním umístěným na vnější straně skříně, tak jak tomu leckdy bývá, z designových důvodů.

Zajímavou novinkou, která se v poslední době u počítačových skříní objevuje, je natočení pozic určených k uchycení pevných disků [18].



Obr. 7. Pozice pro pevné disky [18] a) v klasickém provedení, b) natočené o 90°

Účelem natočení pozic pro pevné disky je snadnější přístup k jejich zapojení a díky montáži pomocí lyžiček také snadná opakovaná montáž a demontáž bez nutnosti použití šroubováku. Z hlediska akustického je ovšem tato inovace spíše krokem zpět. Porovnáním dostupnosti chlazení na obrázku 7a a 7b je patrné, že zatím co v případě klasického upevnění, může vzduch od ventilátoru volně proudit přes pevný disk, v případě druhém je chladič doslova zabarikádován plechem sloužícím k jeho uchycení. Ani samotné plastové lyžičky, usnadňující montáž disků, nejsou žádnou výhodou, protože při jejich montáži působí vlastně jako tepelný izolátor a konstrukce skříně nemá možnost od pevného disku odvádět teplo, tak jako by to dělala v případě klasického uchycení pomocí šroubků. Zde by sice pomohlo kovové provedení lyžiček, ale stejně není nad to, když jsou všechny komponenty pořádně přišroubovány, čímž se zamezí případnému vzniku vibrací [18].

3.2. Zdroje napětí

Další součástí počítače, na kterou se nyní zaměříme jsou počítačové zdroje. První věcí, o kterou je vhodné se u zdrojů z hlediska hlučnosti zajímat, je ventilátor. Většinu výrobců v dnešní době již přešla k velkým 12cm ventilátorům a někteří používají dokonce ventilátory s průměrem až 14cm, což se zdá být jako správný směr. Proto se spíše zaměřím na speciální případ zdroje, který ke svému chlazení nevyužívá ventilátoru vůbec (obrázek 8a). Takovéto zdroje jsou navrženy tak, aby si jejich konstrukce a součástky vystačili s pouhým pasivním odvodem tepla. Mohlo by se zdát, že absence ventilátoru u zdroje, problém hlučnosti zdrojů vyřešila. Takto jednoduché to ovšem není. Ventilátor u zdroje neslouží pouze k ochlazení zdroje, ale také k odvodu tepla z počítačové skříně jako celku, kdežto pasivně chlazené zdroje se dost zahřívají a bez odvodu jejich tepla počítačovou skříní naopak vyhřívají. Pakliže tedy zvolíme zdroj bez ventilátoru, nutně musíme k odvodu tepla ze skříně použít ventilátoru jiného. Alespoň jeden ventilátor tedy v provozu bude, nehledě na pasivní verzi zdroje. Pasivní typ zdroje se tak dá použít, s nějakou znatelnější výhodou, snad jen v systémech vodního chlazení, kterému bude dále věnována samostatná kapitola.



Obr. 8. Zdroj a) s pasivním chlazením [21], b) s možností odpojení nepotřebné kabeláže [18]

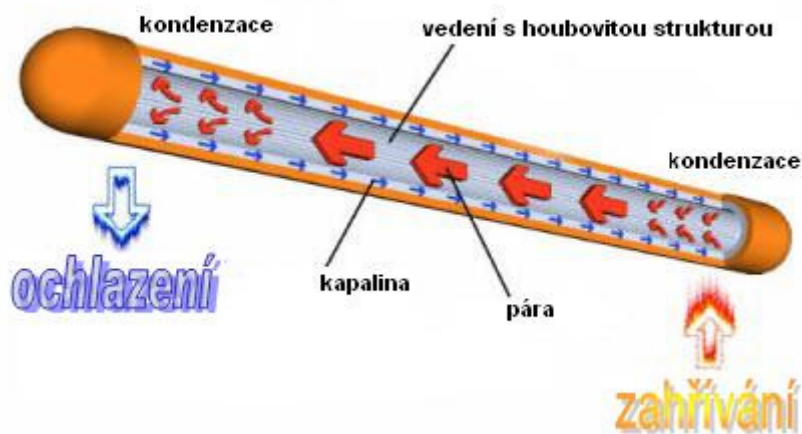
Čemu je vhodné u zdrojů věnovat ještě pozornost, je možnost odpojení nepoužívaných kabelů. Tento komfort je sice výsadou zejména dražších modelů, ale většinou se jedná o kvalitnější výrobky také v dalších směrech. Díky možnosti nepotřebné kabely jednoduše odpojit, můžeme zabránit jejich zbytečnému obtékání vzduchem a tím i vzniku dalšího turbulentního víření a tedy i dalšímu nárůstu hladiny hluku.

Další užitečnou schopností některých zdrojů, je možnost automatické regulace otáček ventilátoru zdroje v závislosti na jeho teplotě. Ventilátor tedy nemusí běžet naplno pořád, ale jen když je to skutečně potřeba.

Důležitým údajem počítačového zdroje, kromě jeho výkonu, je také jeho účinnost. Čím vyšší účinnost zdroj má, tím méně produkuje odpadního tepla a v kombinaci s regulací otáček, také méně hluku.

3.3. Heatpipe – tepelné trubice

Jedná se o technologii využívající měděné, někdy i ocelové trubičky, které jsou na obou koncích hermeticky uzavřeny. Na vnitřní straně trubiček se nachází speciální pórovitá vrstva, nasáklá kapalinou. Důležité je, aby zmíněná kapalina měla nízký bod varu pohybující se okolo 50 °C. Pokud je bod varu kapaliny vyšší, lze jeho snížení dosáhnout vytvořením podtlaku ve vnitřním prostoru trubičky. Princip na jakém heatpipe pracují je znázorněn na obrázku 9. Při zahřívání jednoho z konců trubičky například teplem od procesoru, dochází k odpařování kapaliny z vnitřní vrstvy trubičky. Vzniklé páry se přesouvají středem trubičky k jejímu chladnějšímu konci, který je spojen s nějakým druhem chladiče. Na chladnějším konci heatpipe kondenzují páry opět na kapalinu a vzlínají pórovitou strukturou zpět k zahřívajícímu konci trubičky. Tento proces se následně opakuje, dokud je rozdíl teplot na obou koncích trubičky obvykle alespoň 3 °C. Hlavní předností této technologie je zejména vysoká tepelná vodivost trubiček a to 200÷1000x vyšší než u samotné mědi, díky čemuž je teplo od chlazených čipů odváděno mnohem rychleji. Další výhodou heatpipe je, spotřeba části přenášené tepelné energie, vlivem neustálých změn skupenství její plnicí kapaliny. Díky uvedeným výhodám, se tato technologie v posledních letech používá při výrobě chladičů čím dál tím častěji. [15]



Obr. 9. Grafické znázornění principu, na kterém pracuje technologie Heatpipe [15]

3.4. Chladiče a ventilátory

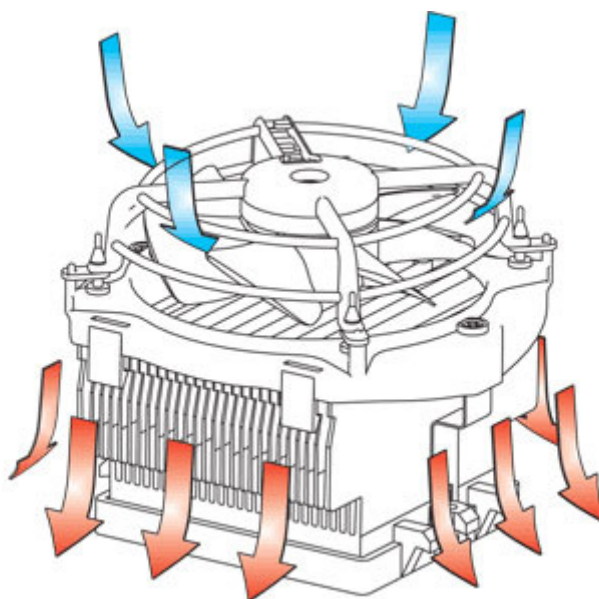
Chlazení počítačových komponent lze rozdělit na pasivní a aktivní. V případě pasivního chlazení je na chlazeném čipu umístěn pouze žebrovaný radiátor, který předává teplo okolnímu proudícímu vzduchu. Účinnost pasivního chladiče závisí zejména na jeho rozměrech, provedení a hlavně celkovém chlazení počítače. Pasivní chladič je naprosto tichý, ale použitelný zejména u součástí, které nevyzařují přílišné množství tepla, například čipset základní desky [15].

U rozměrnějších variant chladičů využívajících technologie heatpipe, lze pasivně uchladiť i některé typy grafických karet (obrázek 10) případně některé starší typy procesorů.



Obr. 10. Pasivně chlazená grafická karta Sapphire ATI Rad Ultimate HD5670 [24]

U aktivního chlazení k radiátoru chladiče přibude ještě ventilátor, který jej bude ofukovat a tedy aktivně chladit (obrázek 11).



Obr. 11. Schéma chlazení běžným aktivním chladičem procesoru od firmy Arctic Cooling [15]

Výslednou hlučnost aktivního chladiče určuje velikost a kvalita použitého ventilátoru. Větší ventilátor si může dovolit k zajištění stejného výtlaku vzduchu mnohem menší otáčky a tím zajistit tišší chod chlazení při stejné efektivitě. U chladičů s rozměrnějšími ventilátory však může nastat problém s jejich umístěním a je tedy nutné před pořízením chladiče, možnost jeho instalace nejprve ověřit. Protože i zdánlivě rovné povrchy chladiče a čipu vykazují mikroskopické nerovnosti, docházelo by při jejich dosednutí k vytvoření vzduchových kapes.

Vzhledem k tomu, že tepelná vodivost vzduchu je oproti oceli mizivá používá se k vyplnění nerovností zmíněných povrchů teplovodivé pasty (obrázek 12). Její aplikace zajistí dokonalé přilnutí povrchů a tím i zlepšení přenosu tepla. Vrstva nanesené pasty by však neměla být příliš vysoká. Její tepelná vodivost je sice výrazně vyšší než jakou má vzduch, ale také ne tak vysoká jako u samotné mědi. V závislosti na složení teplovodivé pasty (nejčastěji směsi kovů, stříbra či keramiky) může být přenos tepla do jisté míry proměnlivý. Protože jsou otáčky některých chladičů řízeny podle teploty chlazeného čipu, můžeme vhodným výběrem pasty dosáhnout i nepatrného snížení hluku a zejména lepšího chlazení. [25]



Obr. 12. Teplovodivá pasta Arctic Cooling MX-2 [24]

Jak jsem již naznačil výše, otázka hlučnosti není pouze doménou velikosti ventilátoru, ale také způsobu jeho provedení. Ventilátory se mohou kromě průměru lišit provedením ložisek a také tvarem lopatek. Zajímavou inovací je v tomto směru produkt firmy Noctua (obrázek 13).



a)

b)

Obr. 13. Ventilátor Noctua NF-P12 [26], a) celkový pohled, b) detail lopatek z druhé strany

Ventilátor od této firmy s označením NF-P12 využívá technologie Vortex-Control-Notches. Tato technologie spočívá v umístění specifických zářezů na lopatky ventilátoru, což umožňuje rozmělnění turbulencí a omezení vznikajícího hluku [26].

3.5. Údržba

Po určité době užívání počítače se většinou stává, že se jeho hlučnost zvýší. Příčinou je jednak uvolnění některých spojů vlivem vibrací, tak zanesení ventilátorů prachovými částicemi. Pakliže je pasivní radiátor chladiče zanesený prachem, jak je znázorněno na obrázku 14, je jasné, že možnost jeho chlazení je výrazně omezena. Vzduch, který by normálně proudil do celého žebrování radiátoru, se do některých míst radiátoru vůbec nedostane a tím je efektivní

plocha radiátoru výrazně snížena. Ve snaze kompenzovat snížení účinnosti chlazení, jsou následně zvýšeny otáčky ventilátoru chladiče a tím i hlučnost. Z tohoto důvodu je vhodné věnovat pozornost také údržbě počítače, zanesené chladiče čistit a šroubové spoje opětovně dotáhnout. Při čištění chladičů je vhodná jejich předcházející demontáž, aby při vysávání nemohlo dojít k poškození počítače. Demontáž chladiče je navíc možné spojit také s výměnou teplovodivé pasty, která postupem času vysychá a vytváří lehce písčitou strukturu.



a)



b)

Obr. 14. Aktivní chladič CPU zanesený prachem, a) celkový pohled, b) pohled pod ventilátor

3.6. Pevné disky

Klasické pevné disky využívají pro svůj provoz rotace svých ploten a při přenosu dat se k tomuto mechanickému pohybu připojuje ještě kmitání čtecích respektive zapisovacích hlav. Zmíněný pohyb má za následek vznik hluku a vibrací přenášených na kostru skříně, které jsou příčinou vzniku hluku dalšího. K zamezení přenosu vibrací se proto někdy používají různé antivibrační držáky, jako je například ten na obrázku 15a. Uchycení disku tímto způsobem však omezí nejen přenos vibrací, ale i přenos tepla od disku dále na konstrukci skříně. Aby bylo zajištěno dostatečné chlazení disku, je možné zakoupit antivibrační držák HDD ve verzi kombinované s pasivním chladičem (viz. obrázek 15b) [13].



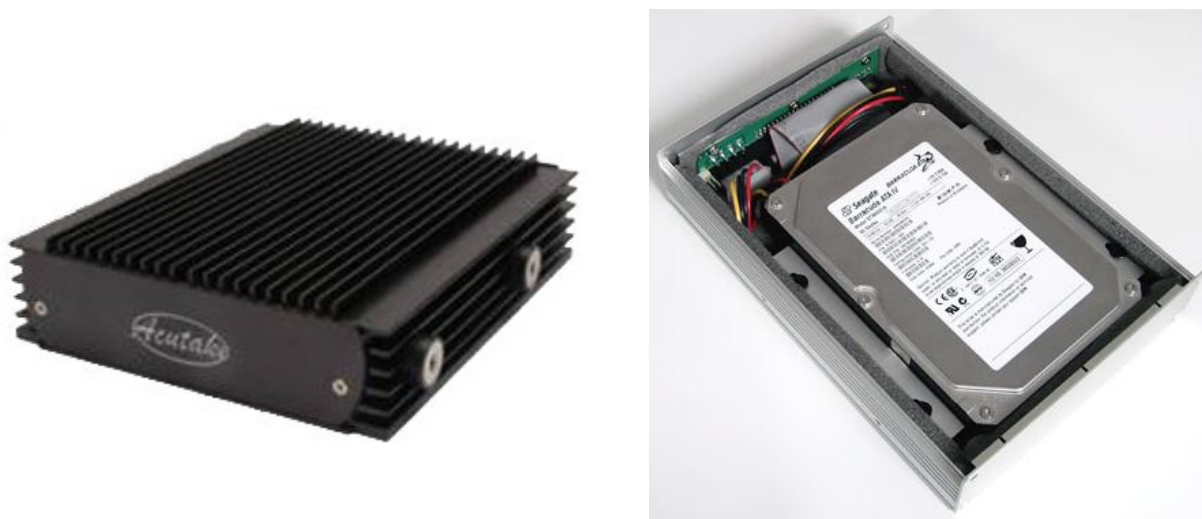
a)



b)

Obr. 15. Antivibrační držák disku, a) Sharkoon HDD VIBE-FIXER 3 [24], b) Zalman ZM-2HC2 instalovaný na pevný disk [13].

Předchozí způsoby omezovali pouze přenos vibrací nikoliv však přenos hluku jako takového. Pokud chceme odizolovat i samotný hluk produkovaný diskem lze použít i antivibrační pouzdro, do něhož můžeme celý disk uschovat, tak jak je znázorněno na obrázku 16.



a)

b)

Obr. 16. Antivibrační rámeček, a) Acutake ACU-DARKDISC2 Pasive HDD Cooling [24], b) Nexus Drive-A-Way [27],

Pouzdro disku zobrazené vlevo, neobsahuje žádnou hluk izolující hmotu a je tedy spíše vhodné k zajištění lepšího chlazení disku a potlačení vibrací. Z hlediska zvukové izolace je na tom pouzdro napravo mnohem lépe, ovšem uzavření disku do tohoto pouzdra nelze doporučit vzhledem k jeho životnosti. Zvuk izolující hmota zabraňuje dostatečnému odvodu tepla a disk v pouzdře Drive-A-Way dosahuje až o 10°C vyšších teplot než při samostatné montáži [27].

Velmi efektivním řešením z hlediska problematiky hlučnosti pevných disků je použití jejich čistě elektronické verze. Disky SSD (Solid-state drive) (obr. 17 a 18) prací na stejném principu jako flash paměti a neobsahují tedy žádné mechanické pohyblivé části, a proto je jejich hlučnost nulová. Mezi další výhody patří vyšší rychlost čtení a zápisu dat, nízká spotřeba energie a s tím související nižší zahřívání. Nevýhodou je vysoká cena, malá kapacita a omezená životnost flash pamětí 1 až 5 milion cyklů. [16]



Obr. 17. SSD disk [16]

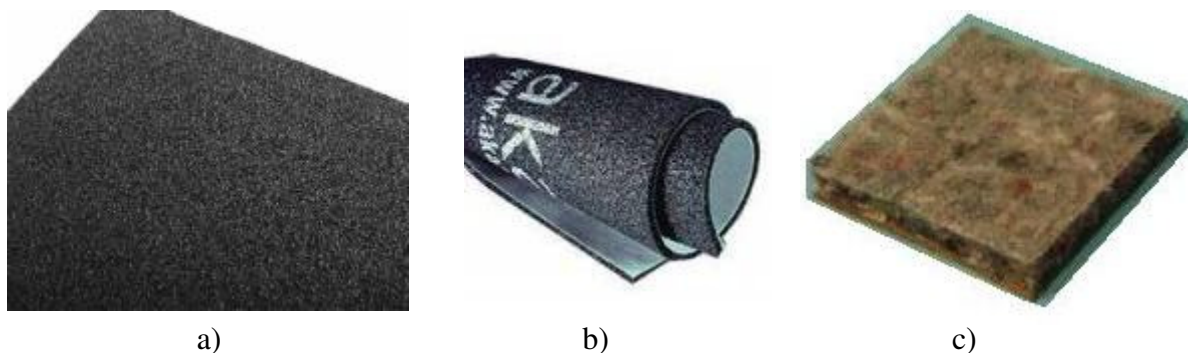


Obr. 18. Vnitřní uspořádání SSD disku [16]

3.7. Dodatečné odhlučnění

Dodatečné odhlučnění by mělo být až tím posledním opatřením, ke kterému by se měl uživatel počítače uchýlovat, protože ztišování již hlučného počítače bývají velmi komplikované a vedou často k výměně již zakoupených částí za tišší typy, což je samozřejmě zbytečně nákladné. V případě, že počítač již máme zakoupený a nemáme tak žádnou jinou možnost, než sáhnout po dodatečném odhlučnění můžeme k tomuto účelu využít například zvuk izolačních a hluk pohlcujících hmot, které se lepí na vnitřní stěny počítače.

Jedná se o porézní materiály s otevřenými póry (obrázek 19). Dopadající akustické energie na zmíněné materiály způsobuje pohyb a vzájemné tření pórovité struktury, která tuto energii z části propustí, odrazí, ale i pohltí přeměnou zejména v teplo. Teplo vzniklé tímto způsobem je však naprosto zanedbatelné. Nevýhodou zmíněné zvukové izolace je také izolace tepelná.



Obr. 19. Odhlučňující hmoty pro počítačové skříně [22]

a) SILVERSTONE SST-SF01, b) AKASA AK-PAX-2 c) BEE SILENT BEE-S2

Kromě komerčních produktů vyráběných přímo pro účely odhlučnění počítačů se můžeme také setkat i s použitím různých molitanů nebo zátěžového koberce, což ovšem nelze zrovna doporučit vzhledem k jejich hořlavosti.

Dalším odhlučňujícím produktem založeným na podobném principu, který je však určen pro umístění z vnější strany skříně je kryt zdroje zobrazený na obrázku 20. Vnitřní strana krytu je pokryta speciální pěnou, která redukuje hluk způsobený prouděním vzduchu ze zdroje, ale samotné proudění svojí přítomností neomezuje.



Obr. 20. Odhlučňovací kryt zdroje Silverstone SST-PP02 [17].

Nakonec bych se chtěl zmínit o existenci celé řady antivibračních podložek a spojek, které jsou určeny hlavně k instalaci do uchycení ventilátorů a zdroje, k omezení přenosu vibrací na kostru počítače. Výjimkou však nejsou ani podložky pro celou skříň počítače.

4. Vodní chlazení

U tohoto typu chlazení je hlavním médiem kapalina, která zprostředkovává výměnu tepla mezi chladičem a okolím. Tato kapalina je z valné většiny tvořena vodou a proto se pro tento typ chlazení vžil název vodní chlazení. Stejně jako u napařovacích žehliček se však nejedná o obyčejnou vodu z vodovodu, ale je zapotřebí použití vody destilované, kterou můžeme opatřit například v lékárnách. Užití obyčejné vody by mělo za následek usazování vodního kamene a tím i výrazné snížení životnosti tohoto typu chlazení. Kromě toho, nižší podíl minerálů u destilované vody, též snižuje její elektrickou vodivost a tím i nebezpečí elektrického zkratu při neodborné manipulaci s chlazením. Kromě vody, tvoří oběhovou kapalinu chlazení další příměsi. Například přidáním, lihu můžeme zabránit množení různých mikroorganismů v kapalině, vzniku řas a tedy možnosti zanesení chladicího systému. Na trhu se však dají zakoupit též kapaliny vytvořené přímo pro účely vodního chlazení, které řeší i další problémy, jako je mazání čerpadla, potlačení vzniku koroze, snížení viskozity kapaliny, případně její zbarvení (vodní chlazení může být i módní záležitost).

Zmíněná kapalina (viz obrázek 21) je k dostání buď jako finální produkt pro okamžité použití (včetně poměrně levné vody), nebo se s vodou ředí dle výrobcem uvedeného poměru.



Obr. 21. Některé kapaliny pro vodní chlazení, které je možno zakoupit [17], [20].

Jak asi každý instinktivně víme, voda do počítače nepatří. Tady je třeba uvést, že systém vodního chlazení je plně uzavřený okruh. Voda (kapalina) mezi jednotlivými částmi chlazení, proudí počítačem uzavřena v gumových hadičkách, podobných zahradní hadici, od které se liší zejména svým průměrem. Vnitřní průměr hadiček vodního chlazení se obvykle pohybuje mezi 6 až 12 mm a jeho výběr bychom měli podvolit rozměru koncovek ostatních součástí chlazení, u niž by tento rozměr měl být jednotný, pro celý okruh.



Obr. 21. Různé druhy spojovacích hadiček pro vodní chlazení [19].

4. 1. Komponenty vodního chlazení

Mezi komponenty, které spolu s hadičkami utvářejí okruh vodního chlazení, patří radiátor, čerpadlo, expanzní nádoba a minimálně jeden vodní blok.

Radiátor

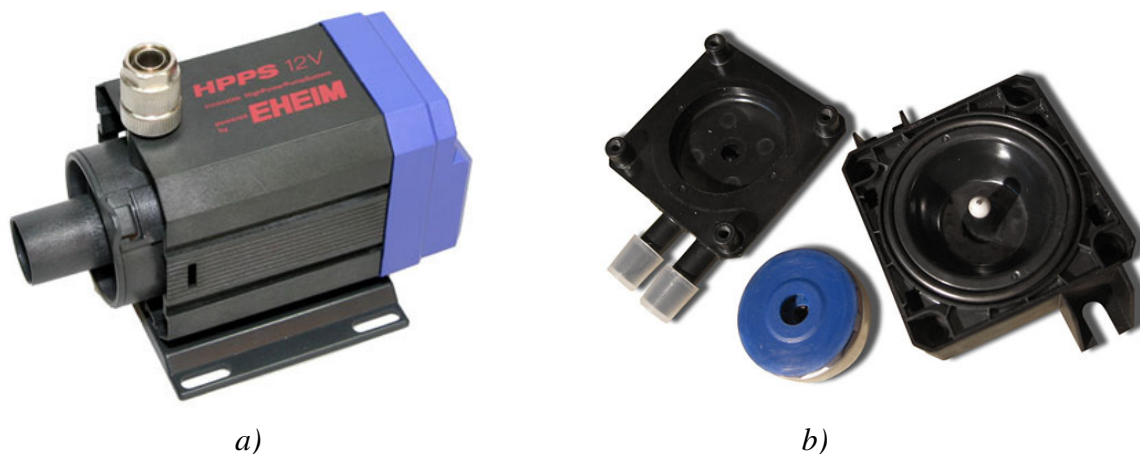
Radiátor respektive výměník (viz obr. 22) zajišťuje tepelnou výměnu mezi kapalinou vodního chlazení a okolním vzduchem. Kapalina protékající soustavou (nejčastěji měděných) trubek radiátoru, předává svoji tepelnou energii lamelám, které jsou s tímto potrubím pevně spojeny nejčastěji pomocí pájení. Radiátory bývají obvykle barveny, ovšem vrstva barvy je natolik tenká, že chladicí výkon není nijak výrazně ovlivněn. [19]



Obr. 22. Různé druhy radiátorů [23], [17].

Čerpadlo

Další velmi důležitou částí vodního chlazení je čerpadlo, které zajišťuje proudění kapaliny okruhem vodního chlazení. U pasivního typu vodního chlazení, tedy tam kde již není na radiátor montován žádný ventilátor je čerpadlo jediným (nepatrným) zdrojem hluku u tohoto typu chlazení. Konstrukce čerpadla by měla být co nejlépe utěsněna, a proto je vhodné použít typ s magnetickým rotorem (viz obr. 23).



Obr. 23. Čerpadlo, a) celkový pohled [15], b) vnitřní konstrukce [19].

Expanzní nádoba

Expanzní nádoba slouží především k odvzdušnění kapaliny, sledování její hladiny a také k jejímu pohodlnému doplňování.



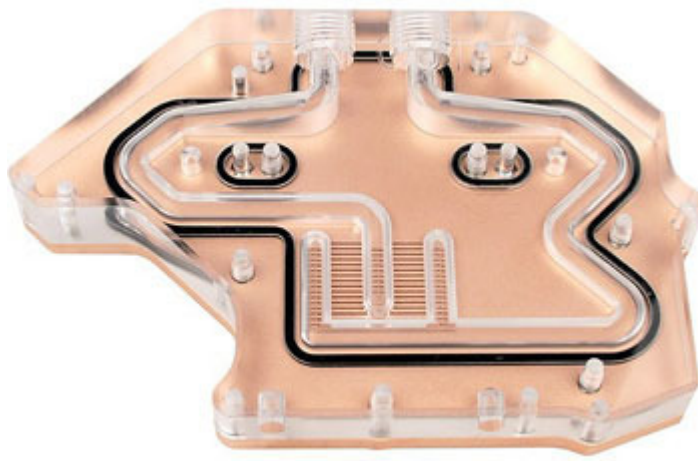
Obr. 24. Expanzní nádoba (montována ve svislé poloze) [15].

Vodní bloky

Vodní bloky slouží podobně jako radiátory ke zprostředkování výměny tepelné energie, tentokrát ovšem mezi kapalinou a chlazenou částí počítače. Pomocí vodních bloků se chladí zejména procesory, grafické karty nebo čipsety. Pomocí vodního chlazení není ovšem problémem chladit také pevné disky či samotné zdroje napětí počítače. Materiálem z něhož jsou vodní bloky vyrobeny nejčastěji je zejména měď nebo hliník. Můžeme se však setkat také s vodními bloky vyrobenými částečně z plastu, pro designové účely, kdy je vidět vnitřní provedení vodního bloku (obrázek 25b).



a)



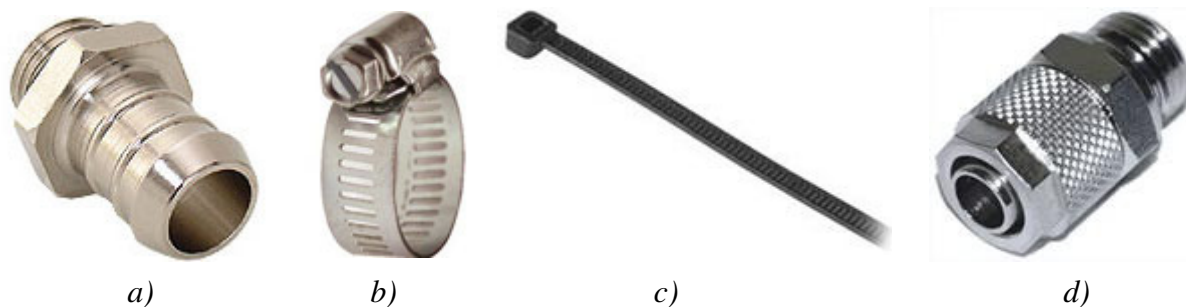
b)

Obr. 25. Vodní bloky, a) pro chlazení CPU [17], b) pro chlazení grafické karty [15].

Jak je z obrázku 25 patrné, u některých komponent vodního chlazení nejsou koncovky (trny), na které bychom mohli hadičky navléknout. Místo koncovek, se na vodních blocích nacházejí pouze otvory se závitem. Propojení s hadičkami v tomto případě zajišťují tzv. fitinky.

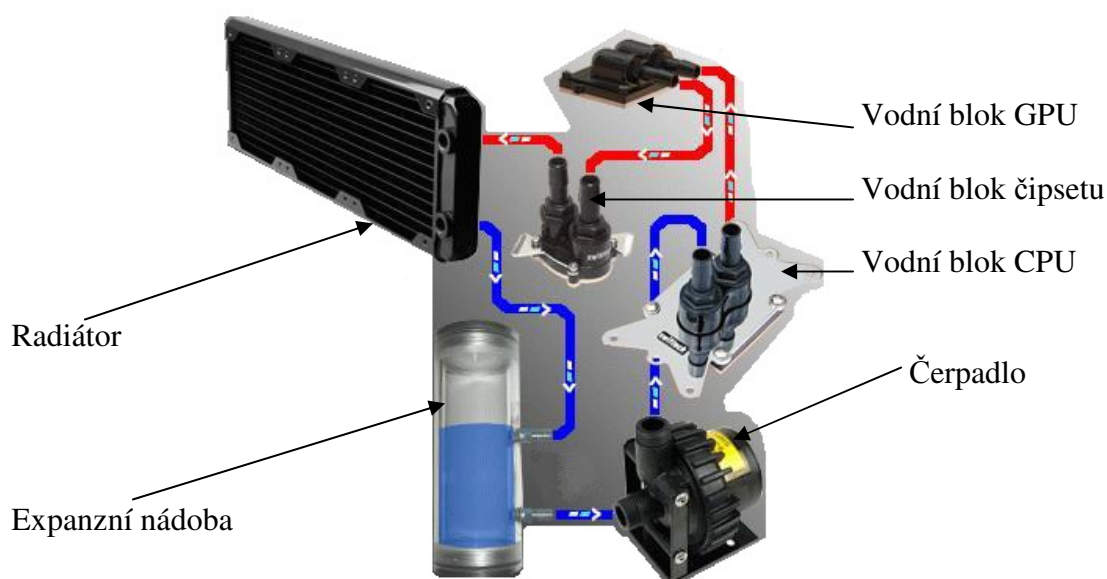
Fitinky

Základním druhem fitinek jsou tzv. trny. K zajištění polohy hadičky na trnu lze použít jak svorek kovových, tak i plastových tzv. zip pásek, které však mohou prasknout a proto je nelze doporučit. Nejbezpečnějším způsobem jsou trny se závitem pro převlečnou matici. Hadička je po dotažení vmáčknuta mezi trnem a maticí a pevně drží. U trnů s převlečnou maticí je však zapotřebí dát pozor, aby nedošlo vlivem silného utažení matice k přestřihnutí hadičky. Nelze však doporučit dotahování příliš mírné, ale spíše výběr vhodného materiálu hadičky.



Obr. 26. Fitinky, a) trn, b) svorka, c) zip páska, d) trn s převlečnou maticí, e) [19].

Všechny komponenty potřebné pro vytvoření standardního okruhu vodního chlazení již byly uvedeny. Nyní se podíváme, jaké je jejich rozmístění ve zmíněném okruhu (obrázek 27)



Obr. 27. Schéma zapojení jednotlivých komponent v okruhu vodního chlazení [19].

4.2. Typy vodního chlazení

Vodní chlazení může být **pasivní** či **aktivní**. Pasivní vodní chlazení se používá zejména u externího provedení, kdy je radiátor umístěn vně počítačové skříně a je tedy dost místa pro jeho rozměrnější varianty. U aktivního chlazení je na radiátoru umístěn ještě ventilátor, který napomáhá lepšímu chlazení, zvláště u interních variant, kdy je nutné vměstnat všechny komponenty chlazení do prostoru počítačové skříně a není tedy dost místa pro rozměrné radiátory.



a)



b)

Obr. 28. Vodní chlazení, a) s pasivním externím radiátorem [19],
b) s aktivním interním radiátorem [17].

4.3. Výhody a nevýhody vodního chlazení

Důvodů, proč někteří uživatelé počítačů dávají přednost raději vodnímu chlazení před klasickým vzduchovým je hned několik. Prvním z nich je tišší provoz. Hlučnost pasivní verze vodního chlazení je dokonce téměř nulová (podle čerpadla). Dalším důvodem pro použití tohoto typu chlazení je bezesporu jeho mnohem vyšší účinnost, než u chlazení pomocí vzduchu. Důvodem je vyšší tepelná kapacita vody oproti vzduchu a to 5,8x, což znamená, že voda je schopna pojmout 5,8x více tepelné energie než vzduch, aby se ohřála o 1 °C. Voda, oproti vzduchu, také mnohem lépe teplo vede. Zatímco tepelná vodivost vody je $0,6062 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, její hodnota pro vzduch činí pouhých $0,0262 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [19].

Hlavní nevýhodou vodního chlazení, je zejména jeho několikanásobně vyšší cena, která se pohybuje běžně okolo 5000 korun. Další nevýhodou je riziko úniku kapaliny z okruhu vodního chlazení, kterému se věnuje následující odstavec.

4.4. Bezpečnost vodního chlazení

Co se týče bezpečnosti, tak samozřejmě únik kapaliny z okruhu vodního chlazení úplně vyloučit nelze. Ve většině případů je to ovšem způsobeno špatnou instalací či nekvalitními spojkami. Není tedy vhodné chtít na tomto typu chlazení za každou cenu ušetřit.

Také výrazně nedoporučuji stěhování vodou chlazené sestavy, zejména pokud je kapalina přítomna v okruhu chlazení. Jestliže se už bez přemístění PC neobejdeme, vždy bychom měli před přepravou kapalinu z okruhu vodního chlazení bezpečně vypustit, aby při přepravě nemohlo dojít k jejímu úniku. Po přepravě bychom pak před opětovným zavodněním systému měli pečlivě zkontrolovat, zda nedošlo k uvolnění některé z hadiček a podobně.

Po opětovném zavodnění bychom před zapojením samotného PC měli uvést do provozu pouze vodní okruh, tak, aby čerpadlo spolu s expanzní nádržkou odvzdušnilo okruh a pečlivě přítom zkontrolovat, zda někde nedochází k úniku kapaliny z okruhu vodního chlazení.

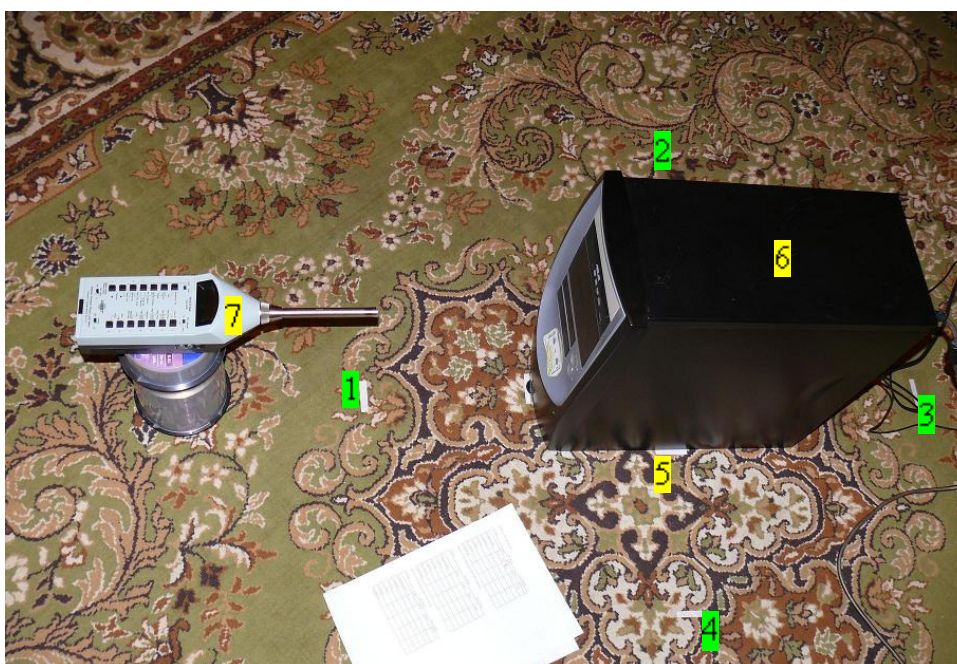
5. Měření

5.1. Popis měření

Měření bylo prováděno za pomoci ručního hlukoměru od firmy Brüel & Kjaer s typovým označením 2231, jak jej můžete vidět na obrázku 29. Rozsah hlukoměru byl nastaven na 10÷80 dB. Při měření bylo použito dvou typů frekvenčního vážení, jež jsou v hlukoměru implementovány, a to váhového filtru „A“ nebo „All Pass“. K měření byl vybrán běžný domácí počítač, jehož konfigurace je blíže specifikována tabulkou 5. Zmíněný počítač můžete vidět na obrázku 1.

Tab.5. Počáteční konfigurace PC bez úprav

Procesor	Intel Pentium 4 CPU 3,0 GHz, BOX s 80mm ventilátorem
Základní deska	Asus P4GPL-X s čipsetem i915PL chlazeným pasivně
Grafická karta	Asus NVIDIA GeForce 6600 GT, PCI-E, 128MB DDR3 s 40mm ventilátorem
Operační paměť	2x512 MB DDR 400 MHz
Pevný disk	Western Digital 200GB, 8MB Buffer, 7200rpm (umístěný nahoře nad optickou mechanikou)
Optická mechanika	Asus DVD-RW (rychlost čtení DVD 16x (22 160 kB/s), CD 48x (7200 kB/s))
Skříň	Aopen Middletower s přídatným 120mm ventilátorem na zadní straně
Zdroj	EuroCASE ATX-450 JSP, 450 W, Socket 775 s 120mm ventilátorem



Obr. 29. Vzájemné rozmístění hlukoměru a počítače při měření. Bílá páska u značek 1 až 4 ukazuje polohy mikrofónu hlukoměru, ve kterých byla hlučnost sestavy měřena. Značka 5 upozorňuje na pásky rozmístěné po obvodu počítače tak, aby při jeho přesunech v rámci úprav pro další měření byla zajištěna vždy jeho stejná poloha pro další měření. Značka 6 je umístěna na měřené počítačové sestavě a číslovka 7 označuje na obrázku hlukoměr tak jak byl pro měření použit v poloze 1.

Zapisována byla jak maximální efektivní hodnota hladiny akustického tlaku v intervalu jedné sekundy při nastavení zvukového parametru na typ SPL, tak i hodnota při nastavení s impulsním časovým vážením v režimu LEQ. Vzhledem k absenci bezdozvukové komory a nutnosti provádět na sestavě PC nemalé modifikace, rozhodl jsem se pro měření u mě doma, tedy v bytě panelového domu klidného brněnského sídliště. Aby bylo dosaženo co nejpříznivějších podmínek z hlediska hluku pozadí, probíhala samotná měření v noci mezi 23 až 3 hodinou ránní. Po dobu měření byla okna i dveře pokoje zavřena a kromě měřené sestavy byla všechna ostatní nepotřebná elektronika vypnuta. Ačkoli použitý typ hlukoměru umožňuje jeho propojení s PC, nebylo této možnosti využito právě s ohledem na nutnost provozu dalšího počítače, který by svou hlukovou expozicí narušoval měření. Měření tedy bylo provedeno ručním opisem hodnot přímo z displeje hlukoměru do předchystaných tabulek vytištěných na papíře a teprve po skončení měření byly hodnoty přepsány do elektronické formy tak, jak je můžete vidět dále.

Měření hlukoměrem bylo vůči měřené sestavě PC prováděno ve čtyřech základních polohách. U první z nich byl hlukoměr nasměrován na přední část počítače, jak je znázorněno na obrázku 29. Poloha dvě se nacházela od počítače vlevo, třetí v zadu za počítačem a čtvrtá vpravo od něj (ve zmíněném obrázku značeno zeleně). Ve všech čtyřech lokacích byl hlukoměr umístěn vždy kolmo na geometrický střed měřené strany počítačové skříně, a to ve vzdálenosti 25 cm mezi jeho mikrofonom a touto stranou, přičemž vzdálenost mikrofону od podlahy byla 20 cm. Takto probíhalo měření několik dní respektive nocí, kdy přes den byly na počítači prováděny nezbytné úpravy, pro další měření. Teplota v pokoji při měření byla v průměru 25 °C, přičemž hladina akustického tlaku tvořená počítačem byla vždy měřena 15 minut po jeho spuštění, aby se i teplota uvnitř počítačové sestavy dostala na ustálenou hodnotu, a tak byly zajištěny stejné podmínky u všech měření.

První měření, pro které budou nyní uvedeny naměřené hodnoty akustického tlaku, se týká konfigurace dle tabulky 5, a to bez jakýchkoli úprav, kromě odstranění nánosů prachu, které se za roky užívání této sestavy nashromáždily zejména mezi žebry chladičů, aby byly zajištěny stejné podmínky v případě srovnávání s jiným (novým) chladičem, jež tyto prachové částice neobsahuje. Nicméně otáčky ventilátorů před a po vyčištění chladičů se stejně nijak nezměnili, ačkoli teplota na CPU klesla z do té doby až z alarmujících 101 °C na 59,5 °C.

Tab. 6. Naměřené hodnoty hladin akustického tlaku pro základní konfiguraci v dB

Název měření:	PC bez úprav			
Užitý filtr:	A		ALL PASS	
Časové vážení:	SPL	LEQ	SPL	LEQ
Vliv prostředí před měřením:	18,7	20,8	45,8	46,4
1 Poloha hlukoměru vůči PC (vpředu):	48,5	47,9	54,9	53,1
2 Poloha hlukoměru vůči PC (vlevo):	55,8	55,3	59,2	58,9
3 Poloha hlukoměru vůči PC (vzadu):	55,4	55,5	72,9	69,9
4 Poloha hlukoměru vůči PC (vpravo):	51,3	50,9	56,8	60,1
Vliv prostředí po měření:	18,9	23,9	47,3	50,5

Z tabulky je patrné hned několik věcí. Jako první bych se chtěl zaměřit na rozdíly jednotlivých hodnot v závislosti na poloze hlukoměru vůči sestavě. Vyplyvá z nich, že nejvyšší hladina hluku z počítače vychází z levé a zadní části.

Tento výsledek mne nijak nepřekvapil, je totiž jasné, že hluk se z počítačové skříně bude šířit zejména otvory pro ventilaci, a to nejen z důvodu absence materiálu, který by musel hluk jinak překonávat, ale také kvůli aerodynamickému proudění vzduchu skrz tyto otvory. Navíc u převážné části pravé strany počítače nedělí chladiče od okolního prostředí jen plech bočnice, ale většinou další plech, na kterém je připevněna základní deska, a potom tato deska sama o sobě. Z těchto důvodů je tedy vhodnější počítač umístit spíše vlevo než vpravo od uživatele.

Z naměřených hodnot v tabulce je také zřejmé, že hodnoty reprezentující vliv pozadí jsou opravdu nízké, z čehož vyplývá, že opatření učiněna za účelem snížení vlivu hluku okolního prostředí byla provedena správně.

Dále je z tabulky patrné, že množství hodnot, které se v ní pro popis jediného měření nachází, je poněkud rozsáhlejší. Proto i uvedení všech měření pro nadcházející úpravy počítače v tomto rozsahu by vedlo k záplavě této práce čísly, nehledě na velmi komplikované porovnání samotných měření mezi sebou, a také složitému vyhodnocování jednotlivých úprav vůči sobě. Proto v dalším textu z tabulek vyberu vždy jen ty nejreprezentativnější hodnoty a kompletní rozsah naměřených hodnot uvedu jen u nejtěžnějších modifikací PC.

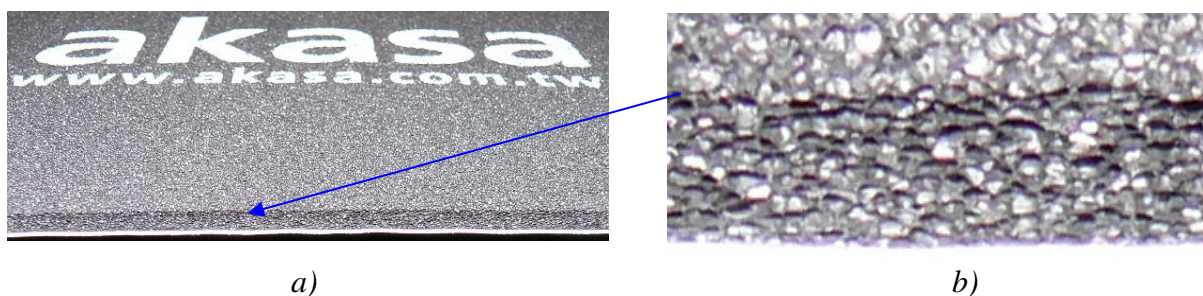
Nyní se podíváme na to, které hodnoty lze považovat za nejreprezentativnější. Ve zmíněné tabulce je vidět, že hodnoty měřené pomocí frekvenčního vážení All Pass, jsou oproti těm s frekvenčním vážením A výrazně vyšší. Tento rozdíl je způsoben tím, že All Pass, jak už jeho název může napovědět, zahrnuje do výpočtu hladiny akustického tlaku i zvuky, které jsou mimo frekvenční rozsah vnímání zvuku člověkem. Naopak frekvenční vážení A nejenže respektuje tento rozsah, ale také se při vyhodnocování hladiny akustického tlaku řídí křivkami stejné hlasitosti (viz kapitola 2), a je tedy pro tato měření výstižnější.

Co se týče časového vážení SPL a LEQ jsou hodnoty dost podobné. Pro další měření vyberu časové vážení SPL, protože hluk od počítače není nijak impulzivní a není tedy třeba měřením postihovat zbytečně dlouhý časový úsek. Naopak při měření v delším časovém úseku by mohlo dojít k narušení měření výkyvem vlivu prostředí. Když například venku projede auto, časové vážení pomocí LEQ tuto hodnotu zaznamená jako nejvyšší, kdežto při měření s SPL se takovýmto situacím lze vyhnout. Touto redukcí hodnot se v tabulce 6 omezíme na oblast, která je v ní zvýrazněna žlutě, přičemž hodnoty vlivu prostředí zaznamenané před měřením a po jeho skončení lze ještě redukovat na jejich průměr.

5.2. Zvukoizolační materiály

První modifikace měřené sestavy, které se nyní budu věnovat, je obkládání stěn počítačové skříně zvukoizolačním, hluk pohlcujícím materiálem.

Pro tyto účely jsem zvolil materiál Akasa AK-PAX-2 o tloušťce 4 mm (viz obrázek 30).



Obr. 30. a) Zvukoizolační materiál Akasa AK-PAX-2, b) detail hrany

Tento materiál byl postupně nalepen na levou i pravou bočnici, spodní i vrchní stěnu a také na přední plastové krytky pozic pro mechaniky. Instalaci zmíněného materiálu na některých částech počítačové skříně můžete vidět na obrázku 31.



a)



b)



c)



d)

Obr. 31. Aplikace zvukoizolační hmoty Akasa AK-PAX-2 na, a) přední plastové krytky pozic pro mechaniky, b) spodní stranu počítačové skříně, c) přední plastové krytky pozic pro mechaniky ve dvou vrstvách, d) vrchní kryt skříně počítače

Hodnoty hladiny akustického tlaku naměřené pro jednotlivé aplikace ztišující hmoty lze nalézt v tabulce 7 na následující straně.

Tab. 7. Naměřené hodnoty hladin akustického tlaku pro různé aplikace ztišující hmoty v dBA

Č.:	Aplikace hmoty	prostředí	vpředu	vlevo	vzadu	vpravo	průměr
1	PC bez aplikace hmoty	18,8	48,5	55,8	55,4	51,3	52,750
2	Jen na levou bočnici	19,5	49,9	53,5	56,9	51,0	52,825
3	Jen pravou bočnici	18,6	47,4	54,6	56,6	50,7	52,325
4	Na levou i pravou bočnici	19,4	47,6	53,3	56,7	52,5	52,525
5	Jen na vrch PC skříně	20,7	48,9	56,5	56,1	50,7	53,050
6	Jen na spodek PC skříně	18,4	50,8	54,7	56,7	50,8	53,250
7	Jen předek viz obr. 3.c)	19,7	50,7	55,5	56,2	49,8	53,050
8	Na celé PC	19,1	47,2	52,9	55,2	50,8	51,525

Hodnoty uvedené v tabulce výše mě opravdu zklamaly. Průměry hodnot (poslední sloupec tabulky) z měření ve všech čtyřech polohách hlukoměru vůči měřené počítačové sestavě se totiž příliš neliší. Při aplikaci ztišující hmoty na celý počítač (obě bočnice, vrchní i spodní stranu v jedné vrstvě a na přední plastové krytky pozic pro mechaniky ve dvou vrstvách) jsou hodnoty nižší v průměru pouze jen o něco málo přes jeden decibel.

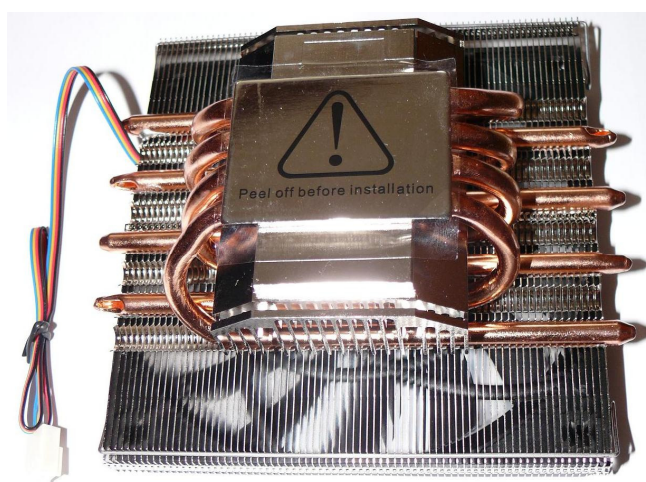
Při některých aplikacích ztišující hmoty na jednotlivé strany počítače dokonce došlo k nárůstu hlasitosti celé sestavy. Vysvětlit by se to dalo tak, že v některých případech ztišující hmota způsobila vznik stojatého vlnění tak, že se hlukoměr mohl při měření nacházet zrovna v prostoru kmitny akustického vlnění. Nakonec je také vhodné zmínit, že obalení vnitřního oplechování počítače takovýmito materiály působí do jisté míry též jako tepelná izolace.

5.3. Chlazení procesoru vzduchem pomocí tišší verze ventilátoru

Druhou modifikací měřené sestavy, které bude nyní věnována pozornost, je záměna defaultního chladiče CPU dodávaného výrobcem za tišší model s větším průměrem ventilátoru. Pro tyto účely jsem zakoupil chladič Scythe Big Shuriken (viz obr. 32 a 33).

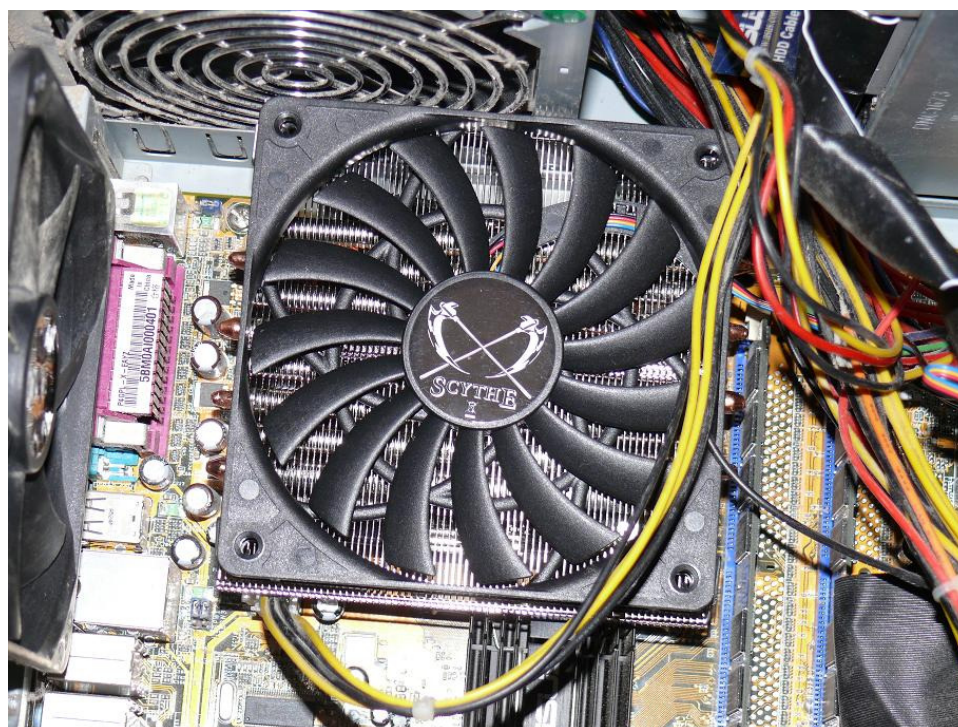


a)



b)

Obr. 32. chladič Scythe Big Shuriken, a) pohled z vrchu, b) pohled zespod



Obr. 33. chladič Scythe Big Shuriken tak, jak byl nainstalován do měřené sestavy PC

Tento vysoce výkonný chladič využívá technologie heatpipe a ventilátoru o průměru 12 cm. Díky tomu si tento chladič může dovolit výrazně nižší otáčky oproti chladiči defaultnímu při zachování stejného chladicího výkonu.

Tab. 8. Hodnoty hladin akustického tlaku pro chladič CPU značky Scythe a izolací PC¹

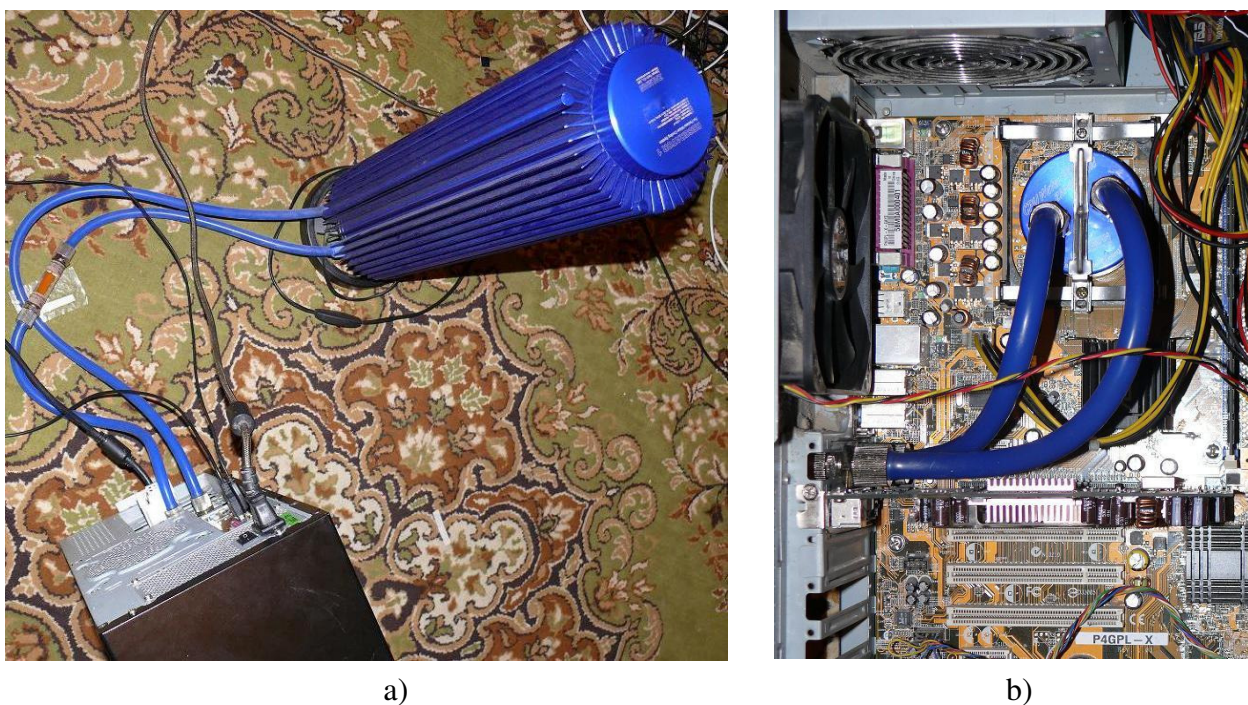
Název měření:	CPU chlazené pomocí chladiče Scythe Big Shuriken			
Užitý filtr:	A		ALL PASS	
Časové vážení:	SPL	LEQ	SPL	LEQ
Vliv prostředí před měřením:	20,7	21,8	50,3	50,5
1 Poloha hlukoměru vůči PC (vpředu):	41,7	42,3	53,2	51,3
2 Poloha hlukoměru vůči PC (vlevo):	46,8	46,2	56,9	56,1
3 Poloha hlukoměru vůči PC (vzadu):	50,9	50,7	75,5	70,1
4 Poloha hlukoměru vůči PC (vpravo):	45,8	45,4	55,1	54,8
Vliv prostředí po měření:	20,9	21,7	51,5	48,9

¹ Izolací PC je zde i dále myšleno kompletní obalení skříně hmotou Akasa AK-PAX-2

Průměrná hodnota ze všech čtyřech poloh měření hlukoměrem při časovém vážení SPL a frekvenčním vážení filtrem A vychází na 46,3 dBA, což je o 5,225 dBA méně než při použití standardního chladiče od výrobce CPU. Toto snížení lze připisovat zejména snížení otáček chladiče. Zatímco otáčky původního chladiče s 8 cm ventilátorem se pohybovaly mezi hodnotami 3600÷3850 rpm a teplota byla nejméně 59,5°C, tak u tiššího chladiče Scythe Big Shuriken s 12 cm ventilátorem se jejich hodnota pohybovala kolem 1730 rpm s teplotou CPU 48°C.

5.4. Vodní chlazení

Nyní, když už máme s čím srovnávat, můžeme konečně přejít k měření hodnot hladin akustického tlaku při použití vodního chlazení. K tomuto účelu jsem využil setu vodního chlazení Zalman Reserator 1, jež obsahuje velký pasivní radiátor (viz obr. 34a.), uvnitř kterého jsou rovnou integrovány výměník, expansní nádrž a čerpadlo. Díky tomuto uspořádání je čerpadlo (jediná aktivní pohyblivá část, která by u této sestavy mohla vytvářet hluk) zatopeno kapalinou, která ji spolu s tělem radiátoru izoluje od okolí, čímž je hluk už tak tichého čerpadla ještě utlumen. Jediným problémem tak zůstávají vibrace od čerpadla, které se mohou projevit například při umístění radiátoru přímo na stůl nebo jiné tvrdé podklady bez použití vhodné (například gumové) podložky. Součástí tohoto setu jsou dále vodní bloky pro chlazení CPU a hlavního výpočetního čipu GPU u grafické karty, gumové hadičky a spojky potřebné k propojení jednotlivých částí chlazení a další nezbytnosti. V prvním měření s tímto typem chlazení byl vodou chlazen pouze procesor (viz obr 34b) a hodnoty pro tuto konfiguraci jsou znázorněny v tabulce 9.



Obr. 34. Zalman Reserator 1 v zapojení s měřenou sestavou: a) pohled na radiátor, b) uvnitř PC

Tab. 9. Hodnoty hladin akustického tlaku pro vodní chlazení CPU, bez izolace

Název měření:	CPU chlazené vodním chlazením			
Užitý filtr:	A		ALL PASS	
Časové vážení:	SPL	LEQ	SPL	LEQ
Vliv prostředí před měřením:	17,4	18,9	46,9	45,5
1 Poloha hlukoměru vůči PC (vpředu):	41,0	41,0	53,3	52,2
2 Poloha hlukoměru vůči PC (vlevo):	45,7	45,2	54,9	54,5
3 Poloha hlukoměru vůči PC (vzadu):	48,6	48,2	77,3	73,5
4 Poloha hlukoměru vůči PC (vpravo):	42,6	41,9	53,2	53,5
Vliv prostředí po měření:	18,0	19,9	47,2	45,9

Průměrná hodnota ze všech čtyřech poloh měření hlukoměrem při časovém vážení SPL a frekvenčním vážení filtrem A zde vychází o 8,275 dBA nižší než u základní sestavy. Použité vodní chlazení CPU je tedy skoro o 2 dBA tišší než chlazení pomocí předchozího tichého chladiče s 12 cm ventilátorem. Nutno poznamenat, že také teplota na CPU byla nižší, a to výrazně. Její hodnota se držela na 38°C, což byla také teplota samotné základní desky. Do okruhu vodního chlazení lze také zařadit chlazení dalších komponent. Proto si nyní uvedeme tabulku naměřených hodnot pro případ, kdy je na jednom okruhu chlazen vodou nejen procesor, ale také grafická karta, respektive její výpočetní jádro GPU.

Tab. 10. Hodnoty hladin akustického tlaku pro vodní chlazení CPU i GPU, bez izolace

Název měření:	CPU a GPU chlazený vodním chlazením			
Užitý filtr:	A		ALL PASS	
Časové vážení:	SPL	LEQ	SPL	LEQ
Vliv prostředí před měřením:	20,7	21,8	50,3	50,5
1 Poloha hlukoměru vůči PC (vpředu):	40,6	40,2	51,7	51,3
2 Poloha hlukoměru vůči PC (vlevo):	43,9	43,3	54,3	53,8
3 Poloha hlukoměru vůči PC (vzadu):	47,4	46,7	74,8	70,3
4 Poloha hlukoměru vůči PC (vpravo):	40,9	40,5	50,8	51,2
Vliv prostředí po měření:	18,9	20,3	48,6	47,6

Pro časové vážení SPL a filtr A v průměru o cca 1,3 dBA se hodnoty hladiny akustického tlaku opět snížili od předchozího případu, a to o 9,55 dBA oproti základní konfiguraci PC. Teplota procesoru se přidáním GPU k okruhu vodního chlazení nepatrně zvýšila, a to na 39°C.

Při pohledu na hodnoty naměřených teplot je vidět, že vodní chlazení má z hlediska chladicího výkonu stále rezervy. Bylo by tedy možné zařadit do okruhu vodního chlazení například ještě zdroj. Ačkoli se zdroje, které pro své chlazení využívají namísto ventilátoru okruhu vodního chlazení dají zakoupit, jejich pořizovací cena je poměrně vysoká. Z hlediska akustiky je však možné jeho použití simulovat pomocí jakéhokoli jiného počítačového zdroje s nulovou hladinou produkovaného hluku. Pro tento případ zde použijí 350W zdroj od firmy Thermaltake s typovým označením W0050, zobrazený na obrázku 35. Jedná se zde o tzv. fanless (bez ventilátorový) zdroj využívající ke svému chlazení technologie heatpipe. Jaký vliv na hlučnost mělo jeho použití spolu s vodním chlazením, to můžete vidět v následující tabulce.

Tab. 11. Hodnoty hladin akustického tlaku pro vodní chlazení CPU i GPU, bez izolace

Název měření:	CPU a GPU chlazený vodou, fanless zdroj			
Užitý filtr:	A		ALL PASS	
Časové vážení:	SPL	LEQ	SPL	LEQ
Vliv prostředí před měřením:	20,2	20,0	50,8	48,3
1 Poloha hlukoměru vůči PC (vpředu):	34,8	34,3	51,0	49,7
2 Poloha hlukoměru vůči PC (vlevo):	37,6	37,2	53,5	51,9
3 Poloha hlukoměru vůči PC (vzadu):	42,1	42,7	71,0	71,1
4 Poloha hlukoměru vůči PC (vpravo):	35,7	35,5	52,6	50,5
Vliv prostředí po měření:	18,9	19,3	51,7	48,2

Oproti předchozímu měření způsobilo zařazení fanless zdroje celkem výrazné snížení 5,65 dBA. Ve srovnání se základní konfigurací bez úprav (tabulka 6) je celkové průměrné snížení 15,2 dBA.



Obr. 35. Thermaltake W0050 (350W fanless zdroj)

5.5. Další úpravy a shrnutí

Do teď byl při všech úpravách v provozu 12 cm ventilátor skříně (obrázek 31b, 33b vlevo). Proto je lákavé zjistit, jakou měrou přispívá se svými 1360 rpm k celkovému hluku počítače. Také lze uvažovat o záměně klasického mechanického pevného disku za bezhlučnou čipovou verzi SSD. Z hlediska akustiky lze tento stav napodobit odpojením HDD od elektrického napájení nebo jeho vypnutím v systému. Následující tabulka 12. shrnuje a porovnává všechny zmíněné úpravy, jejich kombinace a další měření.

Tab. 12. Naměřené hodnoty hladin akustického tlaku v dBA pro všechny konfigurace a úpravy počítače měřené v této kapitole. Žluté zvýraznění představuje výchozí konfiguraci, modré konfigurace či úpravu, pro které již byly hodnoty v této kapitole uvedeny.

Č. m.:	Popis úprav a konfigurace měřené sestavy:	Hladina hluku v dBA
1	Bez úprav	52,750
2	PC komplet obalené, jinak bez úprav	51,525
3	CPU chlazeno pomocí chladiče Scythe Big Shuriken, s izolací	46,300
4	CPU chlazeno pomocí chladiče Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izolace	42,475
5	CPU chlazeno pomocí chl. Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izol., odpojený vent. skříně	40,525
6	CPU chlazeno pomocí chl. Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izol., ventilátoru, HDD i GK	36,925
7	CPU chlazeno vodou, bez izolace	44,475
8	CPU i GPU chlazený vodou, bez izolace	43,200
9	CPU i GPU chlazený vodou, odpojený ventilátor skříně, bez izolace	43,300
10	CPU i GPU chlazený vodou, odpojený ventilátor skříně i HDD, bez izolace	44,550
11	CPU i GPU chlazený vodou, s izolací se zapojeným ventilátorem skříně	44,775
12	CPU i GPU chlazený vodou, s izolací se zapojeným ventilátorem skříně, ale bez HDD	44,250
13	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, bez izolace	37,550
14	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, odpojený ventilátor skříně, bez izolace	30,875
15	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, odpojený ventilátor skříně i HDD, bez izolace	25,800
16	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, s izolací	38,525
17	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, s izolací, odpojený ventilátor skříně	28,125
18	CPU i GPU chlazený vodou, fanless zdroj, s izolací, odpojený ventilátor skříně i HDD	25,225

Tab. 13. Rozšíření tabulky 12. Čísla měření v tabulce 12 a 13 se shodují, lze je tedy použít k dohledání popisu příslušné konfigurace a úpravy sestavy pro konkrétní případ měření.

Číslo měření:	Vliv prostředí:	Poloha hlukoměru vzhledem k měřené sestavě PC				
		vpředu	vlevo	vzadu	vpravo	průměr
1	18,80	48,5	55,8	55,4	51,3	52,750
2	19,05	47,2	52,9	55,2	50,8	51,525
3	20,80	41,7	46,8	50,9	45,8	46,300
4	21,15	39,0	44,5	46,2	40,2	42,475
5	19,75	36,8	43,8	43,0	38,5	40,525
6	20,40	33,0	40,6	39,6	34,5	36,925
7	17,70	41,0	45,7	48,6	42,6	44,475
8	19,80	40,6	43,9	47,4	40,9	43,200
9	18,90	39,7	45,1	46,7	41,7	43,300
10	19,55	40,8	47,8	47,9	41,7	44,550
11	20,15	41,5	44,6	48,5	44,5	44,775
12	21,15	42,5	43,2	47,1	44,2	44,250
13	19,55	34,8	37,6	42,1	35,7	37,550
14	18,80	28,5	31,0	33,0	31,0	30,875
15	18,85	23,6	25,5	27,4	26,7	25,800
16	20,75	35,3	38,7	43,3	36,8	38,525
17	21,45	24,0	29,4	30,2	28,9	28,125
18	21,20	22,0	27,5	28,0	23,4	25,225
Průměry:	19,88	36,69	41,36	43,36	38,84	

Tab. 14. Stejná měření jako v tabulce 12, ale seřazena sestupně od nejvyšší průměrné hladiny akustického tlaku po nejnižší. Číslování měření bylo ponecháno totožné s tabulkami 12 a 13.

Č. m.:	Popis úprav a konfigurace měřené sestavy:	Hladina hluku v dBA
1	Bez úprav	52,750
2	PC komplet obalené, jinak bez úprav	51,525
3	CPU chlazené pomocí chladiče Scythe Big Shuriken, s izolací	46,300
11	CPU i GPU chlazené vodou, s izolací se zapojeným ventilátorem skříně	44,775
10	CPU i GPU chlazené vodou, odpojený ventilátor skříně i HDD, bez izolace	44,550
7	CPU chlazené vodou, bez izolace	44,475
12	CPU i GPU chlazené vodou, s izolací se zapojeným ventilátorem skříně, ale bez HDD	44,250
9	CPU i GPU chlazené vodou, odpojený ventilátor skříně, bez izolace	43,300
8	CPU i GPU chlazené vodou, bez izolace	43,200
4	CPU chlazené pomocí chladiče Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izolace	42,475
5	CPU chlazené pomocí chl. Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izol., odpojený vent. skříně	40,525
16	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, s izolací	38,525
13	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, bez izolace	37,550
6	CPU chlazené pomocí chl. Scythe Big Shuriken, fanless zdroj, bez izol., ventilátoru, HDD i GK	36,925
14	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, odpojený ventilátor skříně, bez izolace	30,875
17	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, s izolací, odpojený ventilátor skříně	28,125
15	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, odpojený ventilátor skříně i HDD, bez izolace	25,800
18	CPU i GPU chlazené vodou, fanless zdroj, s izolací, odpojený ventilátor skříně i HDD	25,225

S přehlednou tabulkou srovnávající jednotlivé úpravy je možné se nyní pustit do zhodnocení posledních zmíněných modifikací. Tou první byla realizace myšlenky odpojení 12 cm přídatného ventilátoru skříně. Při porovnání měření 13 a 14 je vidět, že tímto opatřením lze snížit celkovou hlučnost počítačové sestavy o téměř 7dBA. Na tomto místě je však nutno poznamenat, že bychom ze systému odstranili poslední ventilátor, který je schopný odvádět teplo z prostor počítačové skříně, což nelze doporučit. Při použití obyčejného zdroje s ventilátorem může samotný zdroj úlohu odvodu tepla ze skříně PC do jisté míry převzít, ale při použití zdroje fanless toto možné již není a navíc zdroj samotný ještě významnou měrou přispívá k vyhřívání prostor počítačové skříně. V tomto případě je tedy odpojení tzv. systémového ventilátoru krajně nevhodné a můžeme jen uvažovat o nějakém jeho tišším typu (lepší ložisko, tvar lopatek...), přičemž obalení zvuk izolačním materiálem je v tomto případě z dlouhodobého hlediska nemyslitelné. Pokud uvedený fanless zdroj budeme chápat jen jako simulaci vodou chlazeného zdroje v okruhu spolu s vodou chlazeným CPU i GPU (případně celou grafickou kartou včetně paměti), mohl by někdo dojít k závěru, že zmíněný ventilátor není až tak potřebný, protože odvod tepla od klíčových a nejhřejivějších komponent, dříve chlazených vzduchem, již zajišťuje voda. Jestliže však uvnitř počítače na něčem není standardně umístěn ventilátor, ještě neznamená, že tuto část PC není zapotřebí chladit. Například u pasivně chlazeného chipsetu výrobce většinou počítá alespoň s minimálním pohybem vzduchu uvnitř počítačové skříně, který by za normálních okolností zajišťoval některý z ventilátorů umístěný poblíž, byť určený pro jinou komponentu. Kromě chipsetu chladivý vánek uvítají také moduly s operační pamětí či HDD. Ačkoli všechny tyto komponenty by šlo vodou chladit také, tak vodní bloky, které by k tomu byly zapotřebí, nejsou zrovna levnou záležitostí, nehledě na to, že jejich včlenění do okruhu vodního chlazení by jej zbytečně zatížilo a zvýšilo tak celkovou teplotu vody.

Proto je vhodné alespoň tento jediný (systémový) ventilátor v počítačové skříni ponechat k chlazení zbylých vodou nechlazených částí. Za tímto účelem většinou postačí nižší otáčky ventilátoru, a tak můžeme nižší hlučnost zajistit alespoň jejich redukcí.

Co se týče simulace použití SSD disku namísto typu s mechanickými pohyblivými částmi, je při porovnání měření 14 a 15 vidět, že dochází k útlumu zhruba o 5dBA. V případě porovnání měření 17 a 18 je rozdíl necelé 3dBA, kde však musíme brát v potaz potlačení rozdílu přítomností zvuk izolačního materiálu, a proto je první hodnota 5dBA výstižnější.

Dále bych chtěl věnovat pozornost měření 6, u něhož náznak absence GK (grafické karty) ve skutečnosti znamená záměnu grafické karty ze základní konfigurace v tabulce 1 za pasivně chlazený model typu NVIDIA GeForce NX7900GS s 256MB DDR3 od firmy MSI. Takto bylo možno dosáhnout podobného stavu k měření 15 (kde je grafická karta chlazená též bez užití ventilátoru), a tedy i zajistit další možnosti srovnání chladiče CPU Scythe Big Shuriken s vodním chlazením. Zmíněné srovnání vyšlo ve prospěch vodního chlazení cca o 11dBA.

Srovnáme-li však měření 3 a 7, rozdíl je jen asi 2dBA. Jednou možností, jak to lze vysvětlit je, že v měření 3 chladiči Scythe Big Shuriken napomáhá k nižší hladině akustického tlaku též přítomnost zvuk pohltivého materiálu, který u měření 7 chybí. Z předchozích měření však již víme, že útlum poskytnutý zmíněným materiálem není zase až tak významný. Další a hlavní příčinou, proč je tedy rozdíl mezi měřeními zde o tolik nižší oproti předchozímu odstavci je, že zde působí mnohem více ostatních zdrojů hluku, které tento rozdíl snižují. Rozdílná hodnota zde tedy neznámá, že by některé z měření bylo chybné, ale demonstruje jinou situaci a v podstatě potvrzuje fakt, že pokud vybíráme nějaká opatření za účelem omezení produkce hluku počítačem, musíme vždy uvažovat o vlivu tohoto opatření na počítačovou sestavu jako celek. Výměna jednoho ventilátoru za tišší typ, v jinak hlučné sestavě, se nemusí téměř projevit, ale je-li tento ventilátor poslední hlučnou komponentou, bude efekt záměny daleko výraznější.

Z poslední uvedené tabulky hlavně vyplývá, že při všech měřených modifikacích vyhrává ta, která obsahuje vodní chlazení oproti té, která je chlazená jiným způsobem, přičemž čím více komponent je chlazené vodou, tím jsou rozdíly markantnější. Co je však zapotřebí si uvědomit je to, že v tomto měření bylo použito vodní chlazení pasivní. Nelze tedy tyto výsledky globalizovat pro vodní chlazení jako celek. Nicméně i v případě aktivního vodního chlazení většinou nahrazujeme chlazení malými ventilátory u více komponent za chlazení jediným ventilátorem větších rozměrů, proto i tak lze očekávat snížení hlučnosti, ale již ne tak vysoké. V praxi se lze dokonce setkat i s aktivním vodním chlazením použitým pouze k chlazení CPU. To se může na první pohled zdát jako zbytečné, vzhledem k tomu, že se tím nešetří žádný ventilátor a velký aktivní chladič lze použít k chlazení CPU i přímo. Zde se vodního chlazení však nevyužívá se záměrem chlazení ztlumit, ale zefektivnit. Vodní chlazení je totiž kromě tichosti také mnohem účinnější než chlazení vzduchem.

Vzhledem k tomu, že je tato práce zaměřena hlavně na záměnu vzduchového chlazení za chlazení kapalinové. Uvádím znovu ta nejdůležitější měření, pro zvýšení přehlednosti.

Tab. 15. Srovnání výchozí sestavy PC chlazené vzduchem a pomocí vodního chlazení

Popis úprav a konfigurace měřené sestavy:	Hladina hluku v dBA (SPL)
Bez úprav (výchozí sestava, chlazená vzduchem)	52,750
Náhrada chlazení CPU za chlazení vodní	44,475
Náhrada chlazení CPU i GPU za chlazení vodní	43,200
Náhrada chlazení CPU i GPU za chlazení vodní s bezventilátorovým zdrojem, který simuluje použití vodního chlazení i ve zdroji	37,550

6. Závěr

Tato práce se zabývala možnostmi snížení hluku počítačů se zaměřením zejména na náhradu chlazení počítačových komponentů pomocí ventilátorů za chlazení kapalinové. Pro kvantitativní posouzení jednotlivých úprav byla provedena vlastní měření pomocí hlukoměru Brüel & Kjaer 2231 u počítačové sestavy typu Middletover s procesorem Intel Pentium 4 3,0 GHz. K zajištění co nejnižšího vlivu pozadí byla měření prováděna přes noc. Byla prověřena také redukce hluku na základě obkládání vnitřních stěn počítačové skříně zvukoizolačními materiály, ale naměřený útlum okolo 1dBA byl tak malý, že použití těchto materiálů se ukázalo jako bezvýznamné.

Měření prokázala, že potenciál vodního chlazení je opravdu značný. Z naměřených hodnot je zřejmé, že i při použití vodního chlazení pouze k chlazení procesoru je pokles oproti výchozí sestavě chlazené jen vzduchem přes 8 dBA. Podobného poklesu hladiny hluku by však mohlo být dosaženo i při použití tichého chlazení vzduchem v kombinaci s dalšími protihlukovými opatřeními. Proto je velmi silným argumentem využití vodního chlazení nejen pro chlazení procesoru, ale také grafické karty a zdroje napětí. Hodnota hladiny hluku byla v tomto případě 37,5 dBA. Útlum oproti výchozí sestavě tak byl přes 15 dBA. Ovšem i vodní chlazení lze kombinovat s dalším odhlučněním. Například při odpojení systémového ventilátoru skříně klesla hladina hluku na 30,8 dBA (téměř o 22 dBA méně než u výchozí sestavy). Kromě skvělých výsledků dosažených na poli hlučnosti byla při použití vodního chlazení také mnohem příznivější teplota jádra procesoru. Její pokles byl přibližně 20 °C (z 59,5 °C na 39 °C). Přestože chlazení kapalinové je výrazně účinnější a tišší, chlazení počítačů vzduchem je stále výrazně dominantní formou chlazení na trhu s počítači. Důvodem je zejména cena a částečně možná i obavy z přítomnosti vody uvnitř počítačové sestavy.

Co se ceny týče, ta se u běžného okruhu vodního chlazení pohybuje okolo 5000 korun, je tedy jasné, že řada uživatelů mnohem raději zvolí koupi ventilátoru v ceně řádově nižší.

Pomocí vodního chlazení lze však také ušetřit, podíváme-li se na problematiku z pohledu přetaktování. Zakoupíme-li na trhu běžně dostupný nejvýkonnější procesor nebo naopak procesor s frekvencí o 20% nižší, u něhož za pomoci vodního chlazení rozdíl ve výkonu doženeme přetaktováním, zjistíme, že úspora v ceně za procesor se může pohybovat i kolem několika tisíc korun. Z tohoto pohledu může být i dražší vodní chlazení ekonomičtější, protože s obyčejným chlazením na bázi ventilátoru by takovéto přetaktování bylo jen těžko proveditelné a hraničící s přehřátím a tím i poškozením počítače.

Co se týče bezpečnosti, tak samozřejmě únik kapaliny z okruhu vodního chlazení úplně vyloučit nelze. Dodržováním určitých zásad popsaných v kapitole čtyři a manuálu dodávaného výrobcem však můžeme toto riziko výrazně omezit.

Vodní chlazení lze tedy doporučit zejména pro výkonné PC sestavy, u kterých požadujeme co nejnižší hlučnost při zachování efektivního chlazení a tím i vysokého výkonu počítačové sestavy.

Seznam použité literatury

- [1] PFISTER, Anne-Marie. World Health Organization. *Guidelines for Community Noise – Executive summary* [online]. 2000, [cit. 2011-4-2].
Dostupné z : <http://www.who.int/docstore/peh/noise/ComnoiseExec.htm>
- [2] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1869-9.
- [3] VAŇKOVÁ, Marie et al. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí : část I*. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real,s.r.o., listopad 1995. 140 s. ISBN 80-214-0695-X.
- [4] VAŇKOVÁ, Marie et al. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí : část II*. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real,s.r.o., 1996. 161 s. ISBN 80-214-0818-9.
- [5] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. 2 vyd. Brno : PC-DIR Real,s.r.o., 1998. 177 s. ISBN 80-214-3060-5
- [6] DVOŘÁK, Josef. *Hluk ve vzduchotechnice (I) - Základní pojmy a praktické vztahy*, [online]. 2001, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z : <http://www.tzb-info.cz/626-hluk-ve-vzduchotechnice-i-zakladni-pojmy-a-prakticke-vztahy>
- [7] ADAM, Pavol. *Úvod do metód spracovania zvuku v súčasnom multimediálnom prostredí* [online]. 2006, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://zvuk.atrip.sk/index.php?site=2_2
- [8] Acousti Products - PC Noise Article [online]. 2006-5-23, [cit. 20.5.2011].
Dostupné na: http://www.acoustiproducts.com/en/quiet_pcs_noise.asp
- [9] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 2 vyd . Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3.
- [10] BERNAT, Petr et al. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu* [online]. 2011, [cit. 2011-5-20].
Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/VARHANY/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [11] KAŠPAŘÍK, Jan. *Šíření zvuku* [online]. 2011, [cit. 2011-5-20].
Dostupné z: <http://www.volny.cz/kasparik.j/AKUSTIKA%20II.htm>
- [12] VLACHOVÁ, Magda. *Letem akustickým světem* [online]. c2002-2011, [cit. 2011-5-20].
Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/dilna/akustika/letem-akustickym-svetem.php>
- [13] *Bezvětrákové chladiče a odhlučňovače disků - 1. část* [online]. 2004, [cit. 2011-5-20].
Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-61818BE58E314DADC1256F580077306B.html
- [14] ŠTĚPÁNEK, Jan. *Odhlučnění od A do Z* [online]. 2009, [cit. 2011-5-20].
Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-snizeni-hluku/12511-odhlucneni_od_a_do_z?start=3

- [15] STACH, Jan. *PC tuning* [online]. 2006-06-19 [cit. 2011-05-22]. Základy PC: chlazení a tichý počítač. Dostupné z : http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=7167&catid=42&Itemid=98
- [16] VÍTEK, Martin. SSD disky: nastal již jejich čas? [online]. 2010, [cit. 25.5.2011]. Dostupné z: <http://extranotebook.cnews.cz/ssd-disky-nastal-jiz-jejich-cas>
- [17] JSComputers [online]. 2006, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: <http://www.alphacool.cz>
- [18] VÍTEK, Jan. Průvodce skříněmi – jak si vybrat tu pravou? [online]. 2006, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-ADF0E799EF8BB9ECC12571A000758B90.html
- [19] NEKVAPIL, Vojtěch, Jan SKÁCEL. Moderní vodní chlazení a co byste o něm měli vědět [online]. 2007, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-snizeni-hluku/9911-moderni-vodni-chlazení-a-co-byste-o-nem-meli-vedet?start=1>
- [20] Zalkán Tech Co. [online]. 2011, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://www.zalman.com/ENG/product/CategorySecond_Pic.asp?categoryname=Water%20Cooling&categorySecond
- [21] PCSilent.de [online]. 2011, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: <http://www.pcsilent.de/en-pd-nightjar-fanless-power-supply-quiet-power-supplies-silent-PSU-400W-fanless-passive-PSU-1155.html>
- [22] SUNTECH COMPUTER [online]. 2011, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: <http://www.suntech.cz/kategorie/search.htm?srchtxt=hmota&srctype=all>
- [23] Vodní chlazení: test ... [online]. 2004, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/4107-vodni_chlazení-test
- [24] T.S.Bohemia a.s.[online]. 2011, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://interlink.tsbohemia.cz/komponenty-it_c5539.html
- [25] VÍTEK, Jan. Sedm teplovodivých past v testu [online]. 2007, [cit. 2011-5-20]. Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-66DB8F0C732AF3E6C12573290038E195.html
- [26] DAVID, Adam. Tichý a účinný: Noctua NF-S12 a NF-P12 [online]. 2007, [cit. 24.5.2011]. Dostupné z: <http://extrahardware.cnews.cz/tichy-ucinny-noctua-nf-s12-nf-p12>
- [27] SVOBODA, Tomáš. Nexus Drive-A-Way: Tlumič pevných disků - zároveň i chladič? [online]. 2005, [cit. 25.5.2011]. Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-8134D0B38D01A86AC1257039005364C5.html

Seznam použitých zkratk

Case	Počítačová skříň
dB	Hladina akustického tlaku
dBA	Hladina akustického tlaku s použitím váhového filtru A
f	Frekvence
HDD	Pevný disk
p	Akustický tlak
PC	Osobní počítač
rpm	Otáčky za minutu
SSD	Solid-state drive
T	Teplota