

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY

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

## ANALÝZA AERODYNAMICKÉHO HLUKU POČÍTAČŮ

AERODYNAMIC NOISE OF COMPUTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ ZOUHAR

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: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Lukáš Zouhar  
který/která studuje v  
obor: **Základy strojního inženýrství ()**

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 diplomové práce:

### **Analýza aerodynamického hluku počítačů**

v anglickém jazyce:

### **Aerodynamic noise of computers**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diskuse možností snižování hluku počítačů optimalizačními opatřeními u větráků, používáním pryžových podložek a zvukoizolačních vrstev.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracování rešerše dostupné literatury v oblasti řešeného problému
- 2) Zhodnocení jednotlivých protihlukových opatření používaných v současné době pro snižování hluku vyzařovaného počítačem
- 3) Provedení hlukových měření na standardním typu počítače
- 4) Diskuse vlivu regulace otáček a vlivu tvaru lopatek ventilátoru počítače na vyzařovaný hluk.

Místo této stránky vložit zadání práce.

## **Abstrakt**

Předložená práce se zabývá diskusí na téma snižování hluku počítačů se zaměřením na aerodynamický hluk chladících ventilátorů. Možností snižování hluku počítačů optimalizačními opatřeními u ventilátorů, používáním pryžových podložek a zvukoizolačních vrstev či konstrukčními změnami vlastních ventilátorů a jejich uložení. Zaměříme se také na vliv otáček ventilátorů a tvaru lopatek na vyzařovaný aerodynamický hluk.

## **Klíčová slova**

hluk, počítač, ventilátor, otáčky, lopatka

## **Abstract**

This submitted thesis pursues a theme of decreasing the computer noise, especially focusing on the aerodynamic noise of the cooling fans, possibilities of decreasing the noise by fan optimization, using rubber bolsters and sound-isolating layers or construction changes in the very fans and their placing. We shall also aim on the relation between the created noise and the blade shape or rotation speed.

## **Keywords**

Noise, computer, fan, rotation speed, blade

## **Bibliografická citace**

ZOUHAR, L. Analýza aerodynamického hluku počítačů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.

## **Čestné prohlášení a prohlášení o shodě**

Tímto prohlašuji, že jsem tuto práci na téma Analýza aerodynamického hluku počítačů vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího práce doc. RNDr. Karla Pellanta, CSc. a na základě výše uvedené literatury a dle vlastních poznatků během studia a praktických zkušeností. Elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 5. 2011

.....  
Zouhar Lukáš

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu doc. RNDr. Karlu Pellantovi, CSc. za poskytování cenných informací, pomoc, rad a připomínek při vypracování této práce. Též za trpělivost a ochotu při konzultacích a samotném vypracovávání práce, zapůjčení literatury, jako podkladů a zdrojů čerpání informací pro tuto práci. V neposlední řadě pak rodičům a rodině za podporu při studiu.



# Obsah

	str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>Základní veličiny charakterizující hluk</b> .....	10
<b>Zvuk z pohledu fyziky</b> .....	12
Akustická rychlost .....	13
Akustický tlak.....	13
Akustický výkon.....	14
Akustická intenzita – hladina intenzity.....	14
<b>Zdroje zvuku</b> .....	15
<b>Váhové filtry</b> .....	16
<b>Vnímání zvuků sluchovým orgánem</b> .....	17
<b>Řeč jako forma zvuku</b> .....	18
<b>Hluky</b> .....	19
<b>Aerodynamický hluk</b> .....	21
<b>Hlavní iniciátory vyvolávající aerodynamický hluk u PC</b> .....	21
<b>Zvuk vrtule</b> .....	24
<b>Chlazení a chladicí části</b> .....	25
<b>Pasivní chladiče</b> .....	26
Pasivy .....	26
Technologie Heatpipe .....	27
Peltierův článek.....	27
<b>Aktivní chladiče</b> .....	28
<b>Ventilátory</b> .....	29
<b>Regulace ventilátorů</b> .....	30
<b>Umístění ventilátorů v PC</b> .....	32
<b>Snižování aerodynamického hluku</b> .....	34
<b>Postupy měření hlasitosti</b> .....	36
<b>Způsoby měření hluku (akustického výkonu, akustické intenzity)</b> .....	37
Akustický výkon .....	37
Měření akustické intenzity .....	39
Měření rychlosti proudění vzduchu – výkon ventilátorů .....	40
Metodika měření výkonu ventilátorů .....	41
Hlukoměr - měřicí sonda.....	42
<b>Měření</b> .....	43
<b>ZÁVĚR</b> .....	45
<b>Seznam použitých zdrojů a literatura</b> .....	46
<b>Seznam symbolů, zkratk</b> .....	47
<b>Seznam veličin a jednotek</b> .....	47

## Úvod

Jedním z našich smyslů je sluch, jímž vnímáme zvukové podněty z prostředí, ve kterém žijeme, pracujeme a trávíme volný čas. V dnešní době již dokážeme řídit kvalitu těchto zvuků, tak, aby nám přinášely jen pohodu. Jednou z možností je regulace doby dozvuku, krátká doba dozvuku znamená dobrou akustiku. V prostředí s dobrou akustikou je požadovaný zvuk zdůrazněn, zatímco nežádoucí zvuky jsou eliminovány nebo omezeny do té míry, že zanikne jejich rušivý účinek.

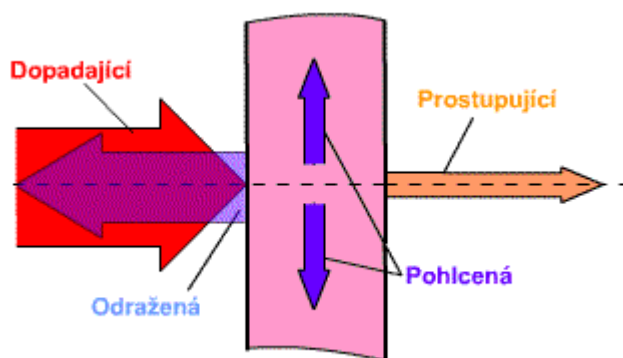
V této práci se budeme zabývat analýzou aerodynamického hluku počítačů. Pro takovou analýzu je třeba znát jisté zákony, rovnice popisující tyto děje, souvislosti a veličiny, které přímo souvisí s akustikou jako takovou a jsou nezbytné pro definování našeho problému. Cílem je poskytnout čtenáři obsáhlý výklad k této problematice a to srozumitelnou formou. Jednotlivé části práce budou rozděleny do kapitol a podkapitol, v nichž budou postupně rozebírány jednotlivé dílčí problémy a možnosti jejich řešení. Jak bylo již výše uvedeno, předpokladem k úspěšnému vyřešení problému je jeho velice dobrá znalost a pochopitelnost. Pokud chceme znát důsledky, dopady a negativní vlivy, které chceme potlačit či omezit musíme znát i příčiny vzniku. Nejprve bych chtěl poukázat na obecné jevy, jenž nás obklopují a jejich důsledky na lidský organismus, jako je hluk. Poté vysvětlit základní problematiku aerodynamického hluku, jeho vznik, šíření a vlastní popis. V průběhu práce pak možnosti omezení těchto negativních rušivých vlivů pomocí různých metod a přístupů. Provést vlastní měření na standardním typu počítače, který je dnes jistě nezbytnou součástí každé kanceláře, domácnosti, pracoviště, studovny, atd. Tudiž hovoříme o práci u počítače s vystavením negativnímu působení tohoto hluku, který se odborně nazývá dobou expozice. V mnohých domácnostech, v nichž jsou negativnímu hluku vystaveni děti hrající si na počítačích hry, které jsou mnohdy velice náročné na hardwarovou konfiguraci počítače, tudíž roste i hladina hluku, neboť se stoupajícím výkonem stoupá i potřeba chlazení a s tím i hlučnost samotného počítače. Tyto jevy nelze zanedbávat nebo podceňovat, jelikož mají vliv na náš organismus a to nejen přímo na sluchovou část. V oblasti komunální hygieny, stejně jako na pracovištích bylo vydáno nařízení vlády č.148/2006 Sb. „O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibracemi“ je v ČR stále platnou legislativní normou, která stanovuje hlukové limity v různých oblastech života společnosti. [14]

Na závěr této práce provedu celkovou analýzu a zhodnocení protihlukových opatření, jejich výhody a nevýhody a možnosti uplatnění těchto opatření, která by měla chránit naše zdraví. Zejména se bude jednat o diskuzi problematiky regulace otáček aktivních chladících prvků, potlačení hluku pomocí absorpčních, zvukoizolačních vrstev a tvaru lopatek v souvislosti s jejich hlučností a účinností.

## Základní veličiny charakterizující hluk

Na rušné prostředí kolem nás už jsme si pomalu zvykli. Hluk jakoby se stal módním doplňkem dnešní doby. Od jiných doplňků se ale liší tím, že nám nesluší, ale škodí. Zdroje decibelů najdeme doma, na pracovišti, hluk se na nás valí. Dlouhodobé působení hlukové zátěže může vedle poruch sluchu vyvolat i řadu dalších onemocnění, jako jsou stres, neurózy, chorobné změny krevního tlaku apod.

Hluková zátěž je úroveň zvuku, který vnímáme. V místnostech s velkým dozvukem (tvrdé a holé stěny, haly, apod.) bude uditorií (převažující) hlasitost vyšší, než v místnostech s absorbéry (pohlcovači) zvuku. To stejné platí i v mnohem menším měřítku než jaká je místnost a to u počítačových skříní (case), kde sice není potřebná srozumitelnost zvuku, ale naopak je třeba zabránit šíření zvuku prostřednictvím prostupností zvuku stěnami, či šíření zvuku prostřednictvím vibrací, způsobených pohybem (rotací) mechanických částí. Absorpční vlastnosti jsou definovány dle svých klasifikací (třída A-E) jako mezinárodních standardů. Třída A představuje nejvyšší stupeň absorpce, naopak třída E nejmenší. Šíření vlnoploch ve volném prostoru lze popsat pomocí fyzikálních zákonů. Pokud vlnění dopadá na akustické rozhraní (stěny, překážky,...) dochází k odrazu a současně k částečnému průchodu šířícího se vlnění danou překážkou (obr 1). Odraz vlnění od překážky je závislý na materiálových vlastnostech překážky a na jejích rozměrech, resp. tloušťce.



*Dopad vlnění na stěnu - obr. 1*

Dopadá-li vlnění na pevnou stěnu (obr 1.), dochází ke zpětnému odrazu vlnění s opačnou fází. Pokud je stěna poddajná, dojde také k odrazu, ovšem takto odražené vlnění má totožnou fázi. Po odrazu vlnění postupuje proti původnímu směru. Pro harmonické zdroje při střetnutí dopadající a odražené vlny dochází k jejich interferenci a může docházet ke vzniku stojatého vlnění. V tomto případě některé body prostředí jsou v klidu (uzly) a některé body mají maximální výchylku (kmitny). Tento jev lze označit jako chvění.

Nejjednodušší případ časového průběhu některé z určujících veličin akustického děje je sinusový, resp. kosinusový průběh popsany vztahem (1) a znázorněný na obr. 2.

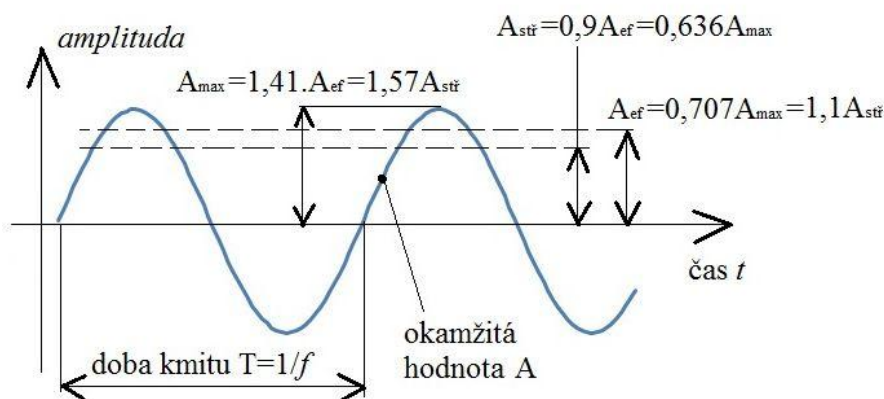
$$A = A_{\max} \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi) \quad (1)$$

$A$  – okamžitá hodnota určující veličiny v čase  $t$

$A_{\max}$  – maximální hodnota určující veličiny  $A$

$\varphi$  – fázový úhel

$t$  – čas



*Veličiny popisující jednoduchý akustický signál – obr. 2*

Z uvedeného je zřejmé, že stejné okamžité hodnoty se opakují obvykle po uplynutí velmi krátké doby  $T$ , jenž nazýváme dobou kmitu. Počet kmitů za jednu sekundu určuje kmitočet  $f$  [Hz] (hertz) a je to převrácená hodnota doby kmitu, tedy  $f = 1/T$ . Hodnota  $2\pi f$  určuje tzv. úhlovou rychlost kmitavého děje. Lidské ucho kmitočet zvuků rozlišuje velice citlivě, a proto údaj o kmitočtovém složení hluku je jedním z nejvýznamnějších. [4]

V praxi podle průběhu signálu znázorněného na obr. 1 používáme nejčastěji efektivní hodnoty, které jsou měřítkem energie přenášené signálem. Obecně je efektivní hodnota určena vztahem:

$$A_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (A)^2 dt} \quad (2)$$

Pro sinusový signál potom platí, že  $A_{ef} = 0,707 A_{\max}$ .

Střední hodnota signálu je určena vztahem:

$$A_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T |A| dt \quad (3)$$

## Zvuk z pohledu fyziky:

Zvuk je každé podélné mechanické vlnění v látkovém prostředí nebo také příčné vlnění v prostředí pevném, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Frekvence tohoto vlnění leží v rozsahu přibližně 20 Hz až 20 kHz. Za jeho hranicemi člověk zvuk sluchem nevnímá. Samozřejmě však lze ale za zvuk považovat i vlnění mimo tuto frekvenci. Zvuk s frekvencí nižší než 25 Hz (mohou jej slyšet sloni) nazýváme infrazvuk (horní hranice může být individuální - 16 až 25 Hz), dolní hranice se neudává. Naproti tomu zvuk s frekvencí vyšší než 20 kHz (tyto frekvence vnímají delfíni nebo netopýři) nazýváme ultrazvuk. Oblast o frekvenci od 1010 Hz až 1014 Hz se nazývá hyperzvuk. Jak už bylo výše zmíněno, obě tyto pásma zvuků (infrazvuk i ultrazvuk) je pro člověka neslyšitelný. Infrazvuky jsou velmi nízké frekvence, lidské tělo je vnímá hmatem, protože jsou schopny rozvíbrovat celý povrch těla či bránci. Naproti tomu ultrazvuk mohou do jisté míry vnímat psi a je to vysokofrekvenční vlnění, které může v určité intenzitě rozvíbrovat drobné předměty (sklenice z tenkého skla), které mohou následkem tohoto i prasknout.

Zdroj zvukového vlnění se stručně nazývá zdroj zvuku a prostředí, ve kterém se toto vlnění šíří naopak vodič zvuku. Příklady vodičů zvuku a rychlost šíření v těchto vodičích je znázorněna v tabulce č. 1. Vodič zvuku pak zprostředkuje přenesení tohoto zvuku do lidského ucha, mikrofonu nebo jiného snímače. Vlnění se šíří i kapalnými nebo pevnými látkami. Je důležité vědět, že zvuk se nešíří ve vakuu, tzn., že ve vakuu je rychlost zvuku rovna nule!

### Příklady rychlosti šíření zvuku:

Látka	$v$ [m/s]	Látka	$v$ [m/s]
Kaučuk	40	Beton	1700
CO <sub>2</sub>	260	Stříbro	2700
Kyslík	317	Platina	2800
Vzduch 0 °C	331	Led	3200
Dusík	336	Mosaz	3400
Vzduch 20 °C	343	Dřevo bukové	3400
Korek	500	Cihly	3600
Vodík	1270	Ocel	5000
Voda 4 °C	1400	Hliník	5100
Voda 20 °C	1400	Sklo	5200

Tabulka č. 1 – rychlost zvuku v různých látkách při teplotě 20 °C

### Akustická rychlost:

Při akustickém vlnění dochází ke kmitání částic prostředí kolem rovnovážné polohy, což vyjadřujeme akustickou rychlostí  $v$ . Jde o vektorovou veličinu určenou rychlostí a směrem. Rozměr je m/s. Pro její vyjádření používáme přednostně efektivní hodnoty. Při volném postupném vlnění je poměr mezi akustickou rychlostí a akustickým tlakem stálý a závisí na konstantách prostředí podle vztahu:

$$\frac{P}{v} = konst = \rho \cdot c \quad [kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

kde  $\rho$  je hustota prostředí [ $kg/m^3$ ] a  $c$  je rychlost šíření zvuku v daném prostředí [m/s]. Pozor ale nejedná se o akustickou rychlost! Hodnotu  $\rho \cdot c$  často jmenujeme volným odporem. Tato hodnota volného odporu pro vzduch za normálních podmínek při teplotě 20 °C činí  $\rho \cdot c \approx 400 [kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$ .

### Akustický tlak:

Akustické vlnění v prostředí se projevuje zejména akustickým tlakem, který označujeme zpravidla  $p$ . Tento tlak působí potom buď na sluchový orgán posluchače, nebo na měřící přístroj na měření hluku. Je zřejmé, že u jednoduchého signálu sinusového průběhu se akustický tlak mění stejně, jak je naznačeno na obr. 2. U obecných průběhů je potom tvar mnohem komplikovanější. Akustický tlak je tedy skalární veličina a představuje kladné i záporné odchylky od klidové polohy barometrického tlaku, jenž se střídají ve shodě s kmitočtem a časovým průběhem jiného tvaru než sinusového. [4] Akustický tlak se vyjadřuje v [Pa]. Jeho hodnota jak bylo uvedeno, se uvažuje jako efektivní, pokud není výslovně uvedeno jinak.

Je třeba si uvědomit, že akustický tlak má jen nepatrnou hodnotu v porovnání s barometrickým tlakem, na kterou je superponován (přibližně je asi milionkrát menší). Ze subjektivního vyšetření řady posluchačů vyplývá, že nejmenší slyšitelný akustický tlak je představován hodnotou  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa, nejintenzivnější potom asi 60 Pa (uvedené hodnoty platí pro šíření vzduchem).

Vztah pro definování hladiny akustického tlaku:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [dB] \quad (5)$$

$p$  je efektivní hodnota akustického tlaku,  $p_0$  je referenční hodnota akustického tlaku rovná  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

### **Akustický výkon:**

Údaje o hladině akustického výkonu se nesmí zaměňovat s ostatními definicemi hladin. V případě, že se údaj vztahuje k omezenému kmitočtovému pásmu použijeme označení hladina akustického výkonu v pásmu. Podobně jako je tomu i v jiných oborech, je třeba pro grafické vyjádření použít logaritmické stupnice. Navíc podle Weber-Fechnerova zákona, lze prokázat logaritmickou závislost mezi objektivními akustickými veličinami a subjektivním vjemem člověka.

Vztah pro určení hladiny akustického výkonu:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde  $W$  je sledovaný akustický výkon ve wattech a  $W_0$  je referenční hodnota akustického výkonu rovná  $10^{-12}$  [W].

### **Akustická intenzita – hladina intenzity:**

Veličiny, které nám poskytují podrobnější informace o akustickém zdroji, resp. o akustickém poli okolo zdroje jsou intenzita zvuku a akustický výkon popsany výše.

Akustická energie je rozložena na vlnoplochách a s nimi rychlostní šíření zvuku a ve směru zvukových paprsků postupuje. Část akustické energie, šířící se za jednu sekundu akustickými postupnými vlnami plochou  $1 \text{ m}^2$  postavenou kolmo ke směru šíření zvuku, určuje intenzitu zvuku  $I$ , vyjádřenou v  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ . Tato veličina úzce souvisí s dosud uvedenými veličinami. V rovinném vlnění je intenzita  $I$  dána součinem akustického tlaku  $p$  a akustické rychlosti  $v$  a vyjádřena rovněž v efektivní hodnotě:

$$I = p \cdot v \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7)$$

Uvedený vztah lze přepsat dále do tvaru:

$$I = p \cdot v = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = v^2 \cdot \rho \cdot c \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (8)$$

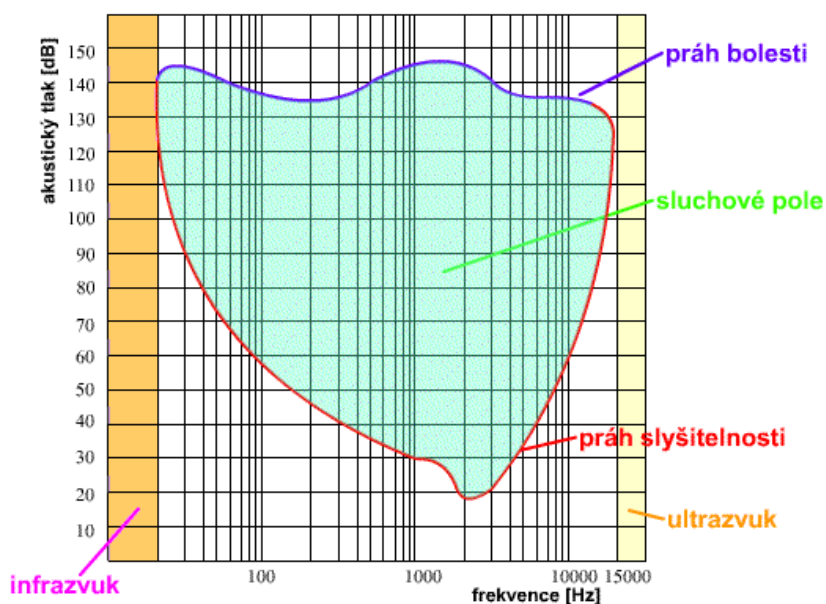
Tím lze na základě měřitelného akustického tlaku  $p$  stanovit údaje o intenzitě zvuku, což je využito buď přímo v měřících metodách, nebo ve výpočtových postupech.

## Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku může být každé chvějící se těleso. O kvalitě takového vlnění pak rozhoduje také fakt, zdali je těleso jako takové dobrým nebo špatným zářičem zvukových vln. Tato vlastnost závisí hlavně na jeho geometrickém tvaru a samozřejmě složení. Zdrojem zvuku mohou být kromě těles, jenž kmitají samovolně také tělesa, kde je kmitání vynuceno, mezi ně patří především reproduktory, sluchátka a další zařízení pro generování nebo reprodukci zvuku a v našem případě to budou samozřejmě i ventilátory pro chlazení počítače. Ty následně dokážou jistým způsobem (mechanickým vlněním) rozkmitat i celou konstrukci počítačové skříně.

Zvuky můžeme rozdělit na hudební (tóny) a nehudební (hluky). Oblast sluchového pole člověka, která byla popsána výše je možné znázornit grafem na obrázku 3. Toto pole je proměnné a u každého jedince individuální, zvláště pak horní hranice slyšitelnosti. Maxima ostrosti sluchu dosahuje člověk mezi 20. - 25. rokem, a se stoupajícím věkem se sluch zhoršuje, zejména u vnímání vysokých kmitočtů. [8]

Mimo to se hudební zvuky vyznačují ještě frekvencí  $f$  [Hz], která určuje jejich výšku. Třetí základní vlastností zvuku je průběh kmitání, ovlivňující jeho zabarvení. Nakonec pak samozřejmě délka zvuku  $t$  [s], která naznačuje dobu jeho trvání.



*Sluchové pole člověka v závislosti na akustickém tlaku a frekvenci - obr. 3*

Každý zvuk (hudební i nehudební) se vyznačuje svojí intenzitou, její veličina je nazývaná hladina intenzity zvuku měřená v dB (deciBell).

Decibel je logaritmická jednotka používaná k vyjádření akustické intenzity. Rozdíl 20 dB znamená rozdíl 10krát větší amplitudy signálu a 100krát většího výkonu. Obvykle se používá pro vyjádření relativního poměru signálů. Je-li použit ve významu absolutní hodnoty intenzity zvuku, pak se za výchozí hodnotu 0 dB považuje akustický výkon  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  (jedná se o prahovou intenzitu slyšitelnosti čistého tónu o frekvenci 1000 Hz).



## Váhové filtry

Dosud uvedené veličiny platí z teoretického hlediska vždy pro určitou hodnotu kmitočtu. Uvážíme-li, že slyšitelné pásmo je určeno intervalem 20 – 20.000 Hz, je třeba vyjádřit a měřit hladinu akustického tlaku v celém tomto kmitočtovém rozsahu. Pro tato měření používáme vřazených kmitočtových filtrů se stanovenými vlastnostmi. Používají se čtyři druhy váhových filtrů, jenž v souladu s křivkami stejné hlasitosti upravují citlivost zvukoměru. Váhové filtry se značí velkými písmeny A, B, C, D a ve své podstatě omezují různě přínos kmitočtových složek v oblasti pod 250 Hz a nad 4.000 Hz k určeným hladinám (viz tabulka 2). Hladiny akustického tlaku měřeného za těchto podmínek se označují jako hladiny zvuku  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$ ,  $L_D$ . Pro běžná měření se preferuje váhový filtr A, jako filtr, který nejlépe vystihuje citlivost lidského ucha. Hladina zvuku je veličinou určenou na základě empirických šetření velké řady osob a nemá proto přesný fyzikální smysl. Její výhodou je především ta skutečnost, že popisuje hlučnost daného zařízení jediným číslem. Pokud nemůžeme  $L_A$  přímo měřit, lze ji vypočítat z frekvenčního spektra tak, že se hladiny akustického tlaku v pásmech korigují podle příslušné váhové křivky, a potom se hladiny v jednotlivých pásmech logaritmicky sčítají podle vztahu:

$$L_A = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi} + A_i}{10}} \right) \quad (9)$$

Kde  $L_{pi}$  jsou odpovídající hladiny akustického tlaku v kmitočtových pásmech a  $A_i$  jsou příslušné korekce váhového filtru A.

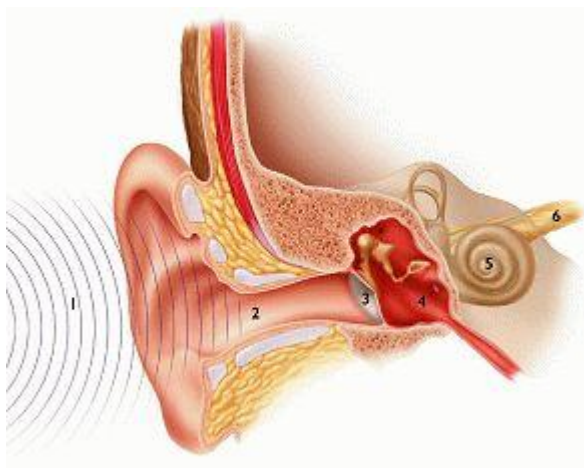
střední kmitočet		relativní zisk váhového filtru				střední kmitočet		relativní zisk váhového filtru			
pásma f [Hz]	A [dB]	B [dB]	C [dB]	D [dB]	pásma f [Hz]	A [dB]	B [dB]	C [dB]	D [dB]		
25	-44,7	-20,5	-4,4	-18,7	800	-0,8	0	0	-0,6		
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,7	1000	0	0	0	0		
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14,7	1250	0,6	0	0	2,0		
50	-30,2	-11,6	-1,3	-12,8	1600	1,0	0	-0,1	4,9		
63	-26,2	-9,3	-0,8	-10,9	2000	1,2	-0,1	-0,2	7,9		
80	-22,5	-7,4	-0,5	-9,0	2500	1,3	-0,2	-0,3	10,4		
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7,2	3150	1,2	-0,4	-0,5	11,6		
125	-16,1	-4,2	-0,2	-5,5	4000	1,0	-0,7	-0,8	11,1		
160	-13,4	-3,0	-0,1	-4,0	5000	0,5	-1,2	-1,3	9,6		
200	-10,9	-2,0	0	-2,6	6300	-0,1	-1,9	-2,0	7,6		
250	-8,6	-1,3	0	-1,6	8000	-1,1	-2,9	-3,0	5,5		
315	-6,6	-0,8	0	-0,8	10000	-2,5	-4,3	-4,4	3,4		
400	-4,8	-0,5	0	-0,4	12500	-4,3	-6,1	-6,2	1,4		
500	-3,2	-0,3	0	-0,3	16000	-6,6	-8,4	-8,5	-0,7		
630	-1,9	-0,1	0	-0,5	20000	-9,3	-11,1	-11,2	-2,7		

Tabulka č. 2 - Kmitočtové charakteristiky váhových filtrů A, B, C, D.

## Vnímání zvuků sluchovým orgánem

V této části se podíváme na problematiku vnímání zvuku člověkem (posluchačem) prostřednictvím sluchového orgánu – ucha. Ve výjimečných případech může být vnímání zvuků jiným způsobem např. vedení kostmi, lebkou apod. Sluchový orgán zprostředkovává převod vnímaného zvuku k centrální nervové soustavě. Účinky hluku se mohou projevovat jak ve vlastním orgánu, tak i v ostatních funkcích organismu člověka. Tam se uplatňují prostřednictvím nervové soustavy a propojují se účinky psychickými i účinky na základní pochody v organismu, které mají vliv na vztah člověka ke svému okolí a dorozumívání. Také na jeho pracovní výkon, odpočinek atd. Budou se tedy uplatňovat různí činitelé, a tedy pro komplexní posouzení hluku není jednoduché určit vhodnou veličinu pro toto posouzení.

Nejlepší bude grafické znázornění. Na následujícím obrázku je znázorněn řez lidským uchem, kde jsou vidět všechny podstatné části. Boltec zachytí zvukovou vlnu - (1) a ta postupuje zvukovodem - (2) k bubínku - (3), který se v rytmu dopadajícího zvukového vlnění rozkmitá. Kmity bubínku se přenášejí přes soustavu středoušních kůstek (kladívko, kovádlínka a třmínek) - (4) a další pružnou blánku, oválné okénko, do tekutinou vyplněného vnitřního ucha - hlemýždě (5).



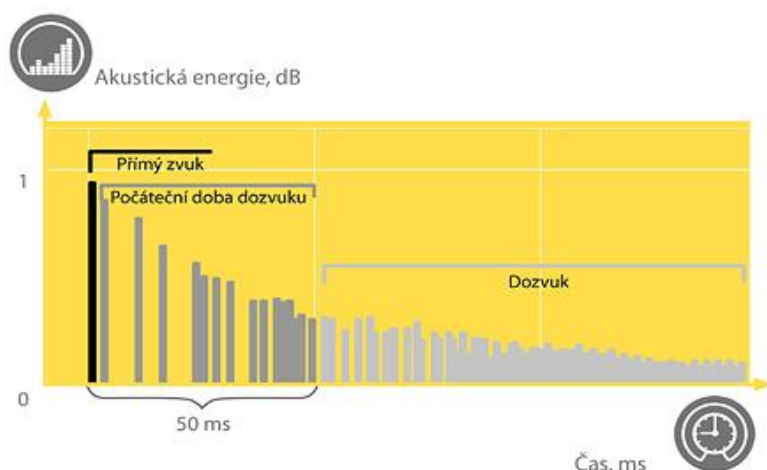
*Řez sluchovým orgánem – uchem – obr. 4*

Zvuková vlna se pak šíří tekutinou v hlemýždě a způsobuje vychýlení takzvané bazilární membrány, umístěné jako přepážka po celé délce hlemýždě. Bazilární membrána má unikátní mechanické vlastnosti, díky kterým se vychyluje vždy na určitém místě podle frekvence přicházejícího zvuku, a tím umožňuje rozlišování různé výšky tónu. Na bazilární membráně je uloženo vlastní sluchové ústrojí s mnoha tisíci vláskových buněk, na které jsou napojena vlákna sluchového nervu. Zde probíhá přeměna mechanických kmitů vyvolaných zvukem na elektrické impulsy, které vedou informaci o zvuku sluchovým nervem - (6) dále do mozku.

## Řeč jako forma zvuku

Srozumitelnost řeči chápeme jako kvalitu přenosu řeči od zdroje (člověka, reproduktoru) směrem k posluchači. V místnosti s ozvěnou a hlukem pozadí nemusí být řeč srozumitelná. Zvuk, který k posluchači dorazí jako první, se nazývá přímý zvuk. Ten je následován krátkými dozvuky (obr 5). Krátkými dozvuky rozumíme takové zvuky, které k posluchači dorazí do 50ms. Ty považujeme za integrované do zvuku přímého, mající na srozumitelnost řeči pozitivní vliv. Dozvuky, které k posluchači dorazí později, mohou být již vnímány jako rušící. Je to dáno rozlišitelností lidského ucha respektive jeho „nedokonalostí“. Pro příklad toto lze srovnat se zrakem, kdy oko není schopno rozpoznat plynulost pohyblivého obrazu, pokud je daný obraz (video) limitováno nejnižší hranicí rozpoznatelného snímkování, což je 25 snímků za vteřinu.

Při měření srozumitelnosti řeči (C50) je porovnávána energie krátkých dozvuků s energií dozvuků pozdějších, jak je vidět na obrázku 5. Vyšší výsledné hodnoty odpovídají větší srozumitelnosti řeči.



Časová závislosti přímého zvuku a dozvuku na akustické energii - obr. 5

Srozumitelnost řeči je také významně ovlivněna prostředím, ve kterém se nacházíme, a které má na tuto formu zvuku pozitivní, nebo negativní vliv z hlediska odrazů a dozvuků, tedy obecného šíření zvuku (obr. 6). Jak bylo popsáno výše v hlavní kapitole Zvuk, jedná se o prostředí s dobrou a špatnou akustikou. Pak lze též uvažovat vlivy samotného prostředí, jako například okolní hluky v samotné místnosti. Je veliký rozdíl srozumitelnosti řeči, budeme-li se nacházet na hlučné ulici, v prázdné letištní hale, nebo ve zvukovém studiu nahrávací společnosti. Všechny tyto prostředí a vlivy v nich mají velký význam pro srozumitelnost řeči a šíření akustického tlaku, jako takového.



Ukázka přímého a nepřímého šíření zvuku - obr. 6

## Hluky

Označujeme nepravidelné vlnění, vznikající jako složité nepravidelné kmitání těles, nebo krátké nepravidelné rozruhy. I hluky však mohou v určitých případech patřit k těm příjemným, např. zvuk bicích – tedy hudebního nástroje, který vydává hluk. Musím také upozornit, že neexistuje přesná hranice, kde by se tóny měnily v hluky. Ta je totiž u každého člověka naprosto jiná a tak se může stát, že pro někoho bude určitý zvuk tónem, jiný již hlukem a naopak. Každý zvuk, hudební i nehudební, se vyznačuje svojí intenzitou, její veličina je nazývána hladina intenzity zvuku, měřená v jednotkách *dB* (deciBell).

Decibel je logaritmická jednotka. Rozdíl 20 dB znamená rozdíl 10krát větší amplitudy signálu a 100krát většího výkonu. Obvykle se používá pro vyjádření relativního poměru signálů. Je-li použit ve významu absolutní hodnoty intenzity zvuku, pak se za výchozí hodnotu 0 dB považuje akustický výkon  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  (jedná se o prahovou intenzitu slyšitelnosti čistého tónu o frekvenci 1000 Hz). Mimo to se hudební zvuky vyznačují ještě frekvencí, která určuje jejich výšku. Frekvenci, neboli kmitočet značíme malým písmenem *f* a její jednotkou je *Hz* (Hertz). Třetí základní vlastností zvuku je průběh kmitání, ovlivňující jeho zabarvení. Nakonec pak samozřejmě délka zvuku, která naznačuje dobu jeho trvání. Dobu trvání můžeme ztotožnit s časem a ten značíme malým písmenem *t* a jednotkou je *s* (sekunda).



obr. 7

Některé druhy hluků jsou pro člověka příjemné, jiné naopak nepříjemné (obr. 7) a některé hluky o vysoké intenzitě dokonce zdraví ohrožující a nebezpečné. Samozřejmě toto závisí na době expozice, tedy na čase, který člověk v daném prostředí stráví. I hluk o menší intenzitě může být člověku škodlivý, pokud je mu vystaven nepřiměřeně dlouhou dobu tzn. doba expozice je přímo úměrná intenzitě hluku. Je-li člověk vystaven po velice dlouhou dobu hluku o malé intenzitě, je to srovnatelné vystavení člověka hluku o velice vysoké intenzitě hluku po krátkou dobu. I když případ s vysokou intenzitou a krátkou dobou expozice je třeba brát s rezervou, jelikož u toho druhu vystavení může dojít k fyzickému poškození sluchu – protrhnutí ušního bubínku a následně ztráty jednoho ze smyslových vnímání člověka - sluchu. Příklady intenzity některých hluků jsou uvedeny v tabulce č. 3 na následující straně.

### Příklady zvuků (intenzita hluku)

Zvuk	Hladina intenzity [dB]
Práh zvuku, slyšení	0
Šelest listí (šum listí při slabém větru)	10
Šum listí	20
Klidná zahrada	20
Pouliční hluk (tiché předměstí)	30
Šepot, velmi tichý byt a velmi tichá ulice	30
Relativní ticho v obsazeném hledišti kina	30 – 35
Tlumený hovor	40
Malý šum v bytě	40
Pouliční hluk (normální)	50
Televizor při běžné hlasitosti	55
Hlasitý hovor	60
Kvákání žáby	64
Klapání psacího stroje	70
Silně frekventovaná ulice	70
Strojovna, hlučný hostinec, potlesk v sále	70
Křik	80
Tunel metra	80
Velmi silná reprodukováná hudba	80
Kohoutí kokrhání	85
Motorová vozidla	90
Jedoucí vlak	90
Maximální hluk motorky	100
Přádelna	100
Pneumatická sbíječka	100
Hlasité obráběcí stroje, kovárna kotlů	110
Diskotéka	110
Startující letadlo	120
Práh bolestivosti	130
Akustické trauma	140
Petardy	170
Horní hranice hlasitosti dětských pistolek	180

*Tabulka č. 3 – Příklady intenzity různých zvuků*

## Aerodynamický hluk

Aerodynamický hluk můžeme přirovnat k jakési formě akustické energie, která vzniká prouděním prostředí (médiu) v našem případě vzduchu. U počítačů obecně patří tento druh hluku mezi hlavní příčiny celkové hlučnosti počítače. V dřívější době se aktivní chlazení počítačů využívalo ve větší míře a výkonu, než dnes. Avšak nutnost aktivního chlazení jednotlivých komponent počítače díky jejich odpadnímu teplu, které můžeme přirovnat k disipativní energii, stále přetrvává. Dnes již sice není potřeba chladit aktivní části systému letadlovými motory, avšak nároky na hlučnost (respektive bezhlučnost/tichost) samotného počítače vzhledem k častému a dlouhodobému využívání nejsou zanedbatelné. Toto aktivní chlazení vzduchem s vysokými výkony platilo pro sálové počítače, ale princip vzniku aerodynamického hluku vlivem otáček vrtule, je pro popis tohoto druhu hluku lépe pochopitelný z důvodu asociace s hlukem vrtulového letadla.

Počítačové komponenty nedávné minulosti neměly takové výkony, jako ty dnešní, tudíž nevyžadovaly tak výkonné aktivní chlazení ventilátory. Proto při otevření staršího typu počítače můžeme vidět, že pouze zlomek všech komponent byl aktivně chlazen ventilátory. Chlazení bylo například pouze u samotného CPU (control procesor unit). Možná některé velice výkonné grafické karty té doby měly potřebu aktivního chlazení GPU (graphic procesor unit), což do budoucna se vzrůstajícím výkonem narůstalo. Ventilátory byly menších průměrů (obr. 7) s hrubě opracovanými lopatkami (tlakovým litím plastů) s otřepy a ostrými hranami o vysokých otáčkách, což bylo hlavní příčinou vzniku aerodynamického hluku.



*Ventilátor staršího typu malého průměru - obr. 7*

### **Hlavní iniciátory vyvolávající aerodynamický hluk u PC:**

- turbulentní nebo pulzující výtok vzduchu z otvorů do klidného prostředí (vývěvy, kudy uniká z počítače chladící médium – vzduch)
- pulzující proudění prostředí vyvolané zejména rotací listů ventilátoru
- nestacionární a vířivé proudění vznikající při obtékání pevných těles tvořících překážky
- pohyb pevných těles v nerovnoměrném proudícím prostředí nebo přerušování tohoto proudění (sirénový hluk ve ventilátorech)



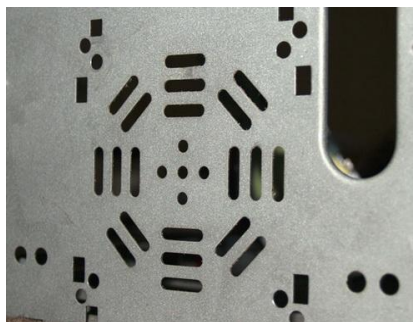
Můžeme rozlišit dva odlišné druhy aerodynamického hluku, odvozené od typu proudění vzduchu, které jej způsobuje. Prvním a dominantnějším zdrojem tohoto hluku je **turbulentní proudění** (obr. 8). Vzniká na místech, kde se vzduch víří popřípadě sráží vzdušné proudy. Druhý způsob vzniku aerodynamického hluku je **laminární proudění** hladce proudícího vzduchu. To je podstatně tišší, než turbulentní proudění. Toto laminární proudění vzduchu je tiché při rychlostech zhruba do jedné desetiny rychlosti zvuku, tedy zhruba do  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při vyšších rychlostech se začíná objevovat typický zvuk pro tento typ proudění - svist.



*Ukázka turbulentního proudění vzduchu - obr. 8*

U počítačových skříní se projevuje zejména druhý z popisovaných aerodynamických hluků a to hluk turbulentní, který má majoritní podíl na celkovém hluku. Laminární proudění vzduchu je ve srovnání s turbulentním zanedbatelné, avšak i toto přispívá svojí měrou do celkového hluku vyzařovaného počítačem.

Velikost aerodynamického hluku a jeho spektrum závisí na rychlosti otáček ventilátoru, jeho umístění, počtu listů vrtule a jejich tvaru. Většina dnešních skříní (case) disponuje pozicemi pro přídavné ventilátory, jak v přední, tak i zadní části. Tyto pozice jsou zpravidla vytvořeny takzvanou perforací (děrováním, prolisy) plechu v samotné stěně skříně (obr. 9). Výrobním postupem s nejmenšími finančními náklady se jedná pouze o vyvrtané, nebo vystřižené díry v samotném dílci skříně.



*Nedostatečné otvory pro průtok vzduchu - obr. 9*

Vzduch, který je poté tlačén ventilátorem přes tento perforovaný plech, vytváří znatelný aerodynamický hluk. Jelikož se projevuje efekt nedostatečného prostoru pro vyzařovaný proud vzduchu, tzn. otvor pro nasávání vzduchu ventilátorem je menší, než otvor, kudy vzduch uniká. Je to dáno perforací stěny skříně, jako kryt ventilátoru, jak již bylo uvedeno výše. Toto má za následek, že vzniká mezi děrovanou stěnou skříně a samotným ventilátorem tlak, který způsobuje nežádoucí turbulence a tím i hluk. Vzduch, který je nasáván ventilátorem a přímo v něm, má menší rychlost, než vzduch, který uniká z malých štěrbin ve stěně skříně. Vzniká tady směs turbulentního a laminárního proudění, přičemž turbulentní je uvnitř skříně, kdežto laminární vně skříně.

Je velice žádoucí s ohledem na snížení těchto druhů hluku, abychom u počítačových skříní zajistili, co možná nejmenší odpory procházejícímu, proudícímu vzduchu, avšak s ohledem na bezpečnost. Nejmenším odporem rozumíme volný průduch (otevřený ventilátor) a nejmenším uzavřenou stěnu (uzavřený ventilátor). Tohoto lze určitě dosáhnout vyříznutím jakékoli překážky ve stěně skříně, nebo v blízkém umístění ventilátoru. Ale toto „volné“ řešení se nedoporučuje z důvodu možného vniknutí předmětů do listů rotoru a možnost tak přijít k úrazu či poškození ventilátoru.



*Kruhové krycí mřížky ventilátorů – obr. 10*

Z praxe jistě víme, že nejmenší odpor kladený proudícímu vzduchu jsou předměty s malou plochou nebo předměty aerodynamického tvaru. V našem případě pro zakrytí těchto otvorů proti nežádoucímu vniknutí cizího tělesa je nejvhodnější mřížka z kruhového drátu (obr. 10), jenž neklade proudícímu vzduchu téměř žádný odpor v porovnání s jakoukoli perforací (obr. 11), která v konečném plošném součtu otvorů ku dířám bude vždy větší ve srovnání s mřížkou z kruhového drátu.



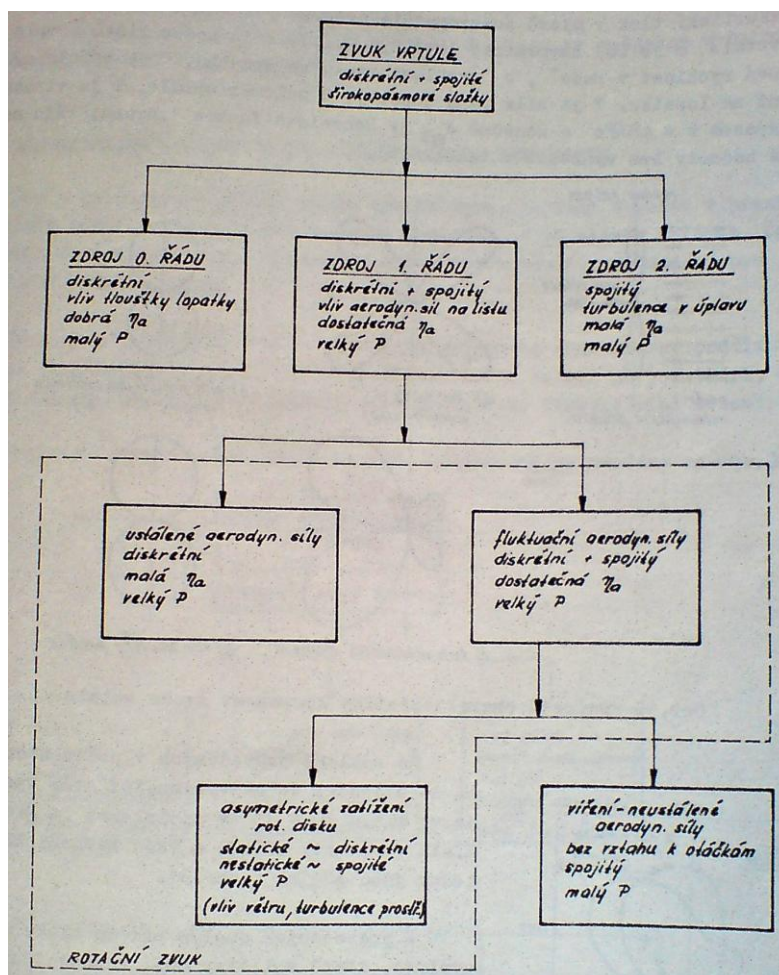
*Různé perforace plechu počítačových skříní – obr. 11*



## Zvuk vrtule

Jak bylo zmíněno výše, daný problém hluku lopatek ventilátorů (především aerodynamický hluk) je možno demonstrovat na konstrukci vrtule letadel, jelikož princip je velice podobný. Z celkového aerodynamického hluku vrtule tedy vyplývá, že se na něm podílí následující složky, jež jsou schematicky zachyceny na obr. 12, kde je uveden charakter jednotlivých složek, akustické účinnosti  $\eta_a$ , celkový akustický výkon:

- Rotační zvuk, který je vyvolán tlakovým statickým polem. Do něj lze zahrnout tu část, která je způsobena aerodynamickým vztlakem daným konstrukcí, profilu a úhlu lopatky. Dále pak část, způsobenou tloušťkou lopatky.
- Zvuk víření, který má nahodilý charakter a je vyvolán úplavy a neustálenými aerodynamickými silami působícími na list vrtule.
- Zvuk způsobený příčným kmitáním listu, který představuje akustický monopól.



Blokové schéma zdrojů zvuku vrtule – obr. 12

## Chlazení a chladicí části

V této kapitole si rozebereme jednotlivé způsoby umístění ventilátorů v počítačové skříni, jejich rozdělení podle směru proudění vzduchu. Také si rozebereme jednotlivé ventilátory, jejich vlastnosti, možnosti, výhody a nevýhody použití pro jednotlivé komponenty počítače (CPU, GPU, chipset, zdroj, přídavné a pomocné ventilátory). Rychlosti otáčení ventilátorů, průměry a velikosti, druhy, tvary lopatek a jejich vliv na proudění vzduchu a hlučnost. Důraz klademe především na aerodynamický hluk způsobený rotací ventilátorů a proudění vzduchu, jak bylo popsáno již výše.

### Rozdělení podle umístění ventilátoru:

- a) Tlačné ventilátory – ventilátor (obr. 13) nasává chladnější vzduch z okolí (z vnějšku počítačové skříně) a tlačí jej do skříně, kde tím pádem vzniká přetlak a ten uniká ven průduchy a otvory zpět do okolního prostoru
- b) Sací ventilátory - ventilátor nasává ohřátý vzduch z počítačové skříně a vyfukuje jej do okolí, tím vzniká v počítačové skříni podtlak a chladnější vzduch je tímto pod tlakem strháván průduchy a otvory dovnitř skříně.



*Tlačný ventilátor Noctua NF-S12 - obr. 13*

Tlačné chlazení vykazuje obecně lepší chladicí účinky, neboť je vzduch ve skříni více rozvířen, čímž se zlepšuje odvod tepla, bohužel však na úkor aerodynamického hluku. Nevýhodou však je přehřívání vzduchu na vstupu do skříně ztrátami spojenými s činností ventilátoru. Slovy čísel, pokud za 1 minutu proteče kolem chladiče 1 kubická stopa (CFM) vzduchu, kterou chladič obohatí o 0,596 W tepelné energie, pak se tento vzduch ohřeje o 1°C (mluvíme o standardní hustotě vzduchu asi 1,2 kg.m<sup>-3</sup>). Je tedy jasné, že pro uchlazení dnešních výkonných součástek je třeba vytvořit dostatečně intenzivní proudění vzduchu, aby se po převzetí tepelné energie nebezpečně neoteploval a současně co nejrychleji opustil místo kontaktu se zdrojem tepla, čímž se na jeho místo dostane nový, chladnější vzduch.

### **Podle vlastního umístění ventilátoru – polohy:**

- a) Horizontální umístění - jedná se o umístění, kdy osa rotace je kolmá k zemskému povrchu. Toto uložení nezatěžuje tolik hřidel, na které ventilátor rotuje a jeho poloha je dána uspořádáním jednotlivých komponent ve skříně a i samotnou polohou skříně (tower - skříně na výšku, desktopy – ležaté skříně). Pokud uvažujeme dnešní standardní typ počítače (tower), pak v horizontální poloze se nachází převážně ventilátor zdroje, grafické karty, popřípadě jiné karty, umístěné do slotů na základní desce, které potřebují aktivní chlazení.
- b) Vertikální umístění – toto umístění je typické pro převážnou většinu ventilátorů aktivního chlazení v dnešních počítačových skříních typu tower. Jedná se o polohu, kdy osa rotace ventilátoru je rovnoběžná se zemským povrchem. Tyto chladičí prvky jsou převážně u částí jako procesor, chipset, zdroj, přídavné ventilátory chlazení umístěné na stěnách a bočnicích počítače atd.

### **Pasivní chladiče**

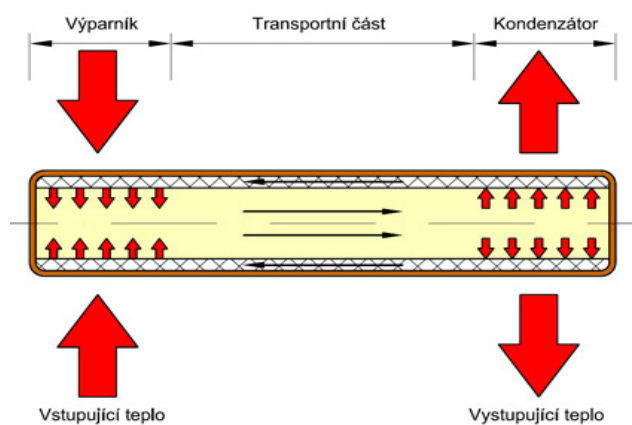
**Pasivy** - dosahují snížení teploty chlazeného prvku tím způsobem, že zvětší plochy objektu, tj. zvýší hodnoty vyzařovaného tepla. Čím je plocha chladiče větší, tím je možné odvést větší množství tepla, z toho důvodu mají chladiče také žebrování (obr. 14), čímž se mnohonásobně zvětší účinná plocha a zároveň se nezvětší rozměry chladiče. Tyto chladiče se dříve běžně používaly u výkonnějších komponent počítačů, avšak v dnešní době, kdy výkony narůstají, a je potřeba účinnějšího chlazení, jelikož už nepostačuje samovolné vyzařování tepelné energie do okolí se samotné pasivní chladiče používají jen u součástí, kde se nutnost chlazení spokojí pouze s těmito pasivními chladiči. Zejména je to u prvků jako chipset na základové desce (motherboard), základních druhů nízkovýkonových grafických karet pro kancelářské aplikace, kdy tyto karty jsou implementovány přímo do základních desek počítačů a dále pak obecně do komponent nevyžadujících aktivní chlazení a nevyzařující velké množství odpadní tepelné energie.



*Pasivní chladič s žebrováním (eloxovaná úprava) – obr. 14*

## Technologie Heatpipe

Kromě klasických žebrovaných chladičů je velký výběr v pasivních chladičích s technologií Heatpipe (tepelná trubice). Systém Heatpipe (obr.15) byl vynalezen již v roce 1942. Slouží k přenosu látky z jednoho místa na druhé pomocí par pracovní látky. Pracuje na velmi jednoduchém principu. Jde o hermeticky uzavřený kovový válec, který je naplněn tekutinou. Na jednom konci je zasazený do zdroje tepla a na druhém do chladiče. Po dosažení teploty, na kterou je nastaven, se začne pracovní látka odpařovat a proudí směrem k ochlazovanému místu, kde kondenzuje. Proud par se dává do pohybu na základě rozdílných tlaků v místě výparníku (tlak vyšší) a v místě kondenzátoru (tlak nižší). Návrat kondenzátu zpět ke zdroji tepla je zajištěn kapilárními silami v porézním materiálu, který kondenzát v podstatě "nasává" zpět ke zdroji tepla.

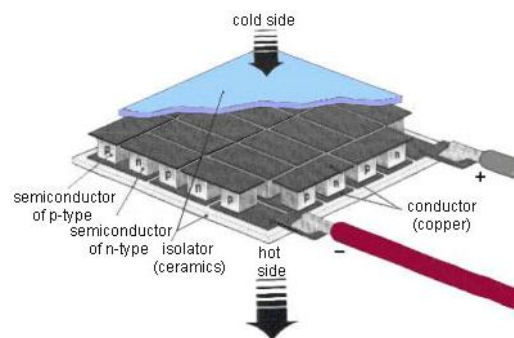


Znázornění činnosti systému Heatpipe - obr. 15

## Peltierův článek

U počítačů je tento článek používán pouze v ojedinělých případech, své uplatnění nachází spíše v technologických řešeních chlazení/ohřevu součástí pro výzkum vesmíru a kosmonautice. Běžně je poměrně těžko k dostání a jeho cenová relace vzhledem jeho technologii výroby a použitých materiálech je poměrně vysoká.

Skládá se ze dvou rozdílných vodičů, mezi kterými prochází proud. Jedna vrstva se při průchodu proudu zahřívá a druhá naopak chladí. Chladná část je v kontaktu s chlazeným komponentem. Hlavní výhodou spočívá v bezhlučném provozu a malých rozměrech. Tento princip má ovšem velkou nevýhodu spočívající v ohřívání druhé strany článku a tím pádem nutností odvodu tohoto tepla do okolí. Vzniká tak velká energetická náročnost, která je nežádoucí.



Princip činnosti Peltierova článku - Obr. 16



## Aktivní chladiče

Jednotlivé počítačové komponenty produkují řádově jednotky až desítky wattů (někdy je to i přes 100 W) tepelné energie, kterou je třeba odvést. Jsou to poměrně vysoké hodnoty a potřebná plocha pro chlazení by byla příliš velká. To bylo příčinou toho, že se pasivní chladiče (obr. 17) začaly opatřovat ventilátory (obr. 18). Prožene-li se po ochlazované ploše větší množství vzduchu, je zřejmě dosaženo efektivnějšího chlazení. A v konečném důsledku můžeme plochu zmenšit tolikrát, kolikrát více vzduchu po chladiči proháníme. Použitím pasivních chladičů při zajištění dostatečné cirkulace vzduchu lze zpravidla nahradit několik zbytečných ventilátorů.



*Pasivní chladič CPU – INTEL s měděným jádrem – obr. 17*



*Kombinace pasivního chladiče CPU - INTEL s ventilátorem – obr. 18*

S nástupem nuceného oběhu vzduchu vyvstala i otázka hlučnosti těchto druhů chladičů (ventilátorů). Z prvopočátku se touto problematikou nikdo moc nezajímal, protože mnohé komponenty (mechaniky, pevné disky) byly mnohem hlučnější. Ale s postupem času se začaly vyrábět inovované ventilátory s důrazem na výkon a na hlučnost. Na obrázku 19 je možno vidět ventilátory s různým tvarem lopatek a průměrů, především pro chlazení procesorů (CPU), které podle jejich výrobců zajišťují dostačující účinek proudění vzduchu při zachování nízké hlučnosti.



*Ukázky ventilátorů – tvaru lopatek a provedení pro chlazení CPU – obr. 19*

## Ventilátory

Pro zaručení tichosti počítače a zároveň i účinného proudění vzduchu je vhodné použití ventilátorů s větším průměrem, jelikož jim stačí podstatně menší otáčky (tedy nižší hlučnost) pro dosažení stejného průtoku vzduchu jako pro ventilátory menších průměrů. Pro omezení hluku je tedy vhodné používat kvalitní ventilátory renomovaných výrobců, ideálně pohyblivě uložené na gumových čepech a jiných zvukoizolačních a antivibračních prvcích eliminujících nežádoucí hluky.

### Příklady vhodných ventilátorů:

Nexus SP80 Real Silent fan (obr. 20)

- rozměry: 80x80x25mm
- **hlučnost: 17.6dB**
- průtok vzduchu: 20.2 CFM \*
- otáčky: 1500 ot/min



4-pin power connectors  
3-pin motherboard connector  
3-wire for RPM monitoring  
20.2 CFM airflow  
17.6 dB(A) noise level

**80MM  
CASE FAN**



*Ventilátor Nexus SP80 – obr. 20*

Noctua NF-P12-1300 (obr. 21)

- tichý ventilátor
- rozměry: 120x120x25mm
- **hlučnost: 12.6 až 19.8dB**
- průtok vzduchu: 63.4 až 92.3 m<sup>3</sup>/h
- otáčky: 900 až 1300 ot/min
- optimalizovaná geometrie a povrch 9 lopatek
- samostabilizující olejové ložisko



*Ventilátor Noctua NF-P12-1300 – obr. 21*

Nexus D12SL-12 Real Silent case fan (obr. 22)

- velmi tichý ventilátor
- rozměry: 120x120x25mm
- **hlučnost: 22.8dB**
- průtok vzduchu: 36.87 CFM \*
- otáčky: 1000 ot/min



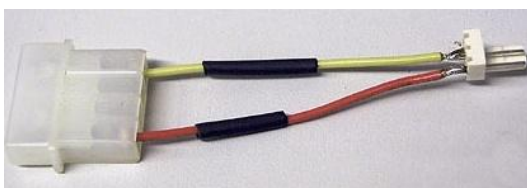
*Ventilátor D12SL-12 – obr. 22*

\*CFM – objem vzduchu v kubických stopách za minutu

## Regulace ventilátorů

Je zřejmé, že ventilátor pracující na konstantních otáčkách není efektivní. Pro tyto konstantní otáčky mohou nastat dva nežádoucí případy. Prvním z nich je, že ventilátor se otáčí vysokými otáčkami, a vhání tak přílišné množství vzduchu, než které je skutečně dostačující. Druhým případem je, že ventilátor se otáčí příliš pomalu, čímž vzniká nedostatečná cirkulace vzduchu. Pro první případ je nejjednodušší zredukovat napětí a tím i snížit otáčky ventilátoru. Tato úprava je vhodná u ventilátorů, o kterých víme, že jsou naddimenzovány vzhledem k potřebě proudění vzduchu.

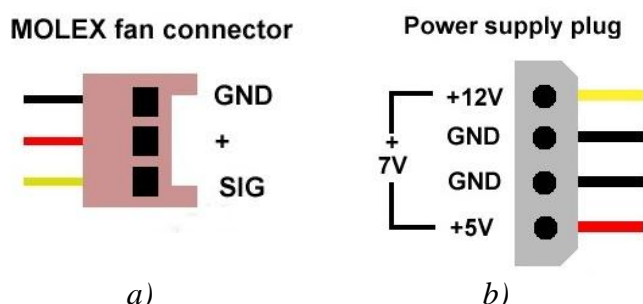
Zredukovat napětí lze několika způsoby. U jednoduchých ventilátorů bez měření otáček, které mají pouze v napájení 12V a zemnění lze tento 2pinový konektor vyměnit za 4pinový, který používají pevné disky a mechaniky CD. Tento konektor lze napojit na napájení přímo z elektrického zdroje počítače (obr. 23) a to s napětím jak 12V tak 7V nebo 5V, podle kombinace kterou zvolíme (tab. 4).



Příklad redukce napájení z 12V na 7V - obr. 23

Zapojení 1	Zapojení 2	Výsledné
12V	zem	12V
12V	5V	7V
5V	zem	5V

Tabulka č. 4 - Kombinace zapojení dvou kabelů a jejich výsledné napětí.

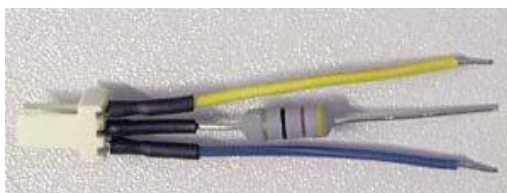


a)

b)

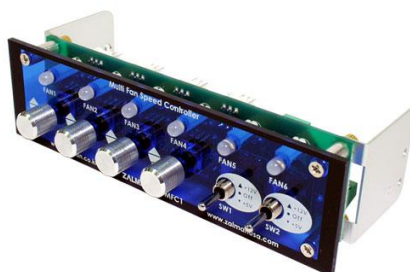
3-pinový konektor ventilátoru – (GND-zem, + - 12V, SIG - měření otáček) – obr. 24 a),  
4-pinový konektor pro napájení mechanik a disků - obr. 24 b)

Další úpravou ke snížení otáček ventilátoru je vložení odporu do napájecího obvodu ventilátoru a to tak, že do série na jeden z přívodů (obr. 25). Nejvhodnější je použití odporových diod, které jsou stabilní a nevykazují takové výkyvy a tepelné ztráty jako klasické odpory.



Zapojení odporu do série se zdrojem – obr. 25

Další možností regulace jsou regulační jednotky (obr. 26), které obsahují nastavitelné odpory (potenciometry) a umísťují se do 5,25 palcového slotu v čelním panelu skříně. Tato regulace je však efektivní pouze pro zregulování na aktuální situaci při určité zátěži komponent a je třeba ji sledovat, jelikož tepelná energie, vystupující z chlazených částí (komponent) narůstá s jejich zátěží resp. pracovním vytížením.



*Manuální regulační jednotka s potenciometry do 5,25" slotu – obr. 26*

V neposlední řadě, jak účinně snížit, resp. regulovat rychlost otáčení ventilátorů, je termoregulace, která využívá tepelné odpory v místě regulovaného prvku na základě jejichž údajů sníží dodávanou energii pro daný ventilátor. Tento druh regulace je nejefektivnější, jelikož udržuje teplotu chlazené komponenty na stejných (žádoucích) hodnotách, a tudíž ventilátor pracuje vždy jen na potřebných otáčkách k jeho dostatečnému chlazení.

Nejdokonalejším regulačním prostředkem jsou regulační karty (obr. 27). Například termocontrolery firmy CASH umí nejen snížit hlučnost ventilátorů pod 20 dB ale umí i snížit příkon o 30%. Je to jednoduchý princip regulace řízením napájecího napětí či odebíraného proudu. Dále karta chrání počítač před poruchami a v případě nebezpečí bezpečně počítač vypne [6].



*Termocontroler TC1 firmy CASH – regulační deska – obr. 27*

Za zmínku jistě stojí, že existují jistě další způsoby chlazení (vodní, dusíkové, mražení,...), ale těmi se zabývat nebudeme, jelikož tato problematika je příliš rozsáhlá.



## Umístění ventilátorů v PC

V této kapitole si ukážeme různé možnosti umístění ventilátorů v počítačových skříních počínaje starými typy počítačů a po ty současně nejmodernější. Bude se jednat o obrazové ukázky pro získání představy, jakým všemožným způsobem je možno tyto ventilátory umísťovat do skříně PC. Ať jde o umístění ventilátorů pro zajištění nižší hlučnosti, nebo pro zajištění maximálního chlazení počítačových komponent, kvůli jejich případnému přetaktování a zisku většího výkonu.

Na obrázku 28 můžeme vidět příklad rozmístění prvků staršího typu počítače, konkrétně typ řady 86 (486 SX), kde jedinou aktivně chlazenou komponentou je čip procesoru. Samotné uspořádání skříně a jejích částí (řadičů, karet, datových sběrnic, vodičů napájení,...) je dosti nešťastné a nevyhovující dnešním nárokům.



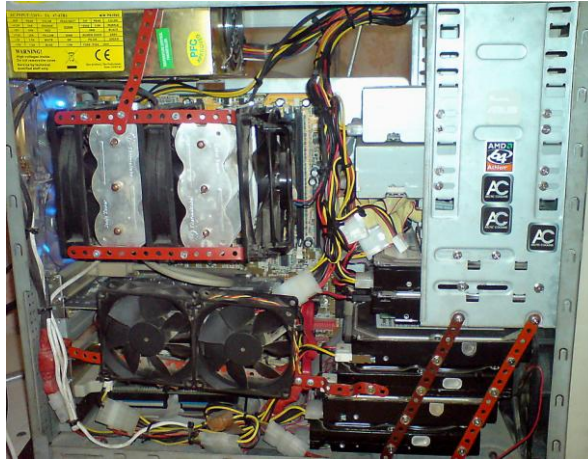
*Rozmístění komponent u staršího typu PC – obr. 28*

Současným nejrozšířenějším typem počítačové je běžně se používající a vyskytující počítač skříně typu tower (minitower), který kromě aktivního chlazení procesoru (CPU), má také ventilátor na grafické kartě (GPU) a zdroji napájení (obr. 29).



*Rozmístění komponent u běžného PC – obr. 29*

Pokud chceme dosáhnout velkého výkonu, musíme zajistit dostatečné chlazení (v podobě nuceného oběhu vzduchu – ventilátorů), pak výkon procesoru takového počítače může stoupnout až na úroveň výkonu 100 W žárovky, jejíž teplota povrchu se pohybuje až okolo 120 °C a uchládit takovou žárovku na 36 °C je docela problém. Takle analogie platí i pro náš problém, proto se někdy přistupuje k řešení, které je patrné z obr. 30, kde v jednom počítači typu miditower je instalováno 12 ventilátorů.



*Předimenzované chlazení 12. Ventilátory – obr. 31*

V tomto případě se neklade důraz na odhlučnění počítače, ale na jeho výkon a dostatečné chlazení, které je řešeno tímto způsobem. Chlazení procesoru je zajištěno kombinací systému Heatpipe, popsaným výše, umístěný v pasivním chladiči, mezi něž jsou vloženy tři ventilátory zajišťující dostatečné chlazení (obr. 32).



*Detail provedení chlazení procesoru – obr. 32*

Na předním čele je umístěn ventilátor  $\varnothing$  120 mm, který nasává studený vzduch z okolí. V zadním čele jsou dva ventilátory  $\varnothing$  80 mm, zajišťující podporu odvodu teplého vzduchu do okolního prostředí. Chlazení zdroje (650 W) zajišťují tři ventilátory – 2 x  $\varnothing$  80 mm a jeden  $\varnothing$  120 mm. Podpurné proudění vzduchu na grafickou kartu zajišťují dva ventilátory o  $\varnothing$  80 mm. Samotná grafická karta je osazena ventilátorem  $\varnothing$  80 mm.

Celý tento počítač (umístění aktivního chlazení) je nejlepším příkladem hlučného počítače, jehož hlučnost je 65 dB a zároveň ukázkou velkého turbulentního proudění.

## Snižování aerodynamického hluku

Možnosti snížení tohoto hluku vychází z jeho vzniku. Tento problém a naznačení možnosti jeho řešení jsme si stručně popsali již výše, ale pro konkrétní problém ještě některé základní skutečnosti a možnosti zopakujeme. Pro snížení tohoto hluku je třeba snížit nárazovou plochu krytu, neboli zajistit, aby otvor, kudy proudí vzduch ven ze skříně, byl stejně velký, jako otvor, kudy je vzduch nasáván ventilátorem. Taktéž je důležité zachovat bezpečnost a krytí ventilátoru před možným dotykem rotujících částí, a tak předejít úrazu. Za nejlepší řešení považuji vyříznutí větracího otvoru ve stěně skříně dle průměru ventilátoru (obr. 33), a poté tento otvor doplnit obyčejnou drátěnou mřížkou, která má vlastnosti zmíněné výše. Již z jejího názvu vyplývá, že mřížka je vyrobena z drátu, který díky svému kulatému průřezu má vynikající aerodynamické vlastnosti a tím pádem nemá nárazovou plochu (respektive tato plocha je minimální). Ke snížení intenzity aerodynamického hluku také přispěje umístění samotného ochranného krytu od ventilátoru. Je lepší umístit mřížku z vnější strany, pokud uvažujeme, že ventilátor je umístěn uvnitř skříně, tzn. upevnit ochranou mřížku z opačné strany konstrukce, než ventilátor. Tento postup úpravy ochranných mřížek můžeme aplikovat na různé části počítače, jako jsou přídavné ventilátory, které slouží k odvodu teplého vzduchu ze skříně, stejně tak pro ventilátory, které naopak zajišťují nasávání okolního studeného vzduchu do skříně. Dále pak pro kryty ventilátorů na napájecích zdrojích, které slouží pro chlazení samotného zdroje, ale i pro odvod teplého vzduchu ven z počítačové skříně a jiné.



*Vyříznutí otvoru pro ventilátor Ø 120 mm - obr. 33*

Experimenty dle společnosti NMB Technologies ukázaly, že prázdná počítačová skříň s dostatečně dimenzovanými otvory sama o sobě redukuje průtok vzduchu o 5-20% (oproti volnému prostoru), skříň plná komponent dokáže redukovat průtok dokonce až o 60% - nebo i více. Je tedy nutné, aby tento handicap ventilátor dokázal co nejlépe kompenzovat. [12]

Aerodynamický hluk generovaný ventilátory je však poměrně širokopásmový, takže potlačování nízkých frekvencí pomocí zvukoizolačních resp. zvukoabsorpčních vrstev (obr. 34) není dost dobře možné. Možnosti snížení aerodynamického hluku vyplývají z hlavních příčin jeho vzniku, výše uvedených. V mnohých případech jsou však velmi omezené a je nutno hluk dořešit nápravnými opatřeními (tlumiče hluku, oddělení zdroje hluku, dodatečná izolace krytování apod.) nebo rovnou vyměnit zdrojovou součást za jinou, kde je snížena hladina hluku konstrukčními úpravami. Tím je myšleno výměna standardních ventilátorů běžně dodávaných za ventilátory s lepšími parametry při dodržení průtoku vzduchu a zajištění tak stejně kvalitního chlazení součástí.

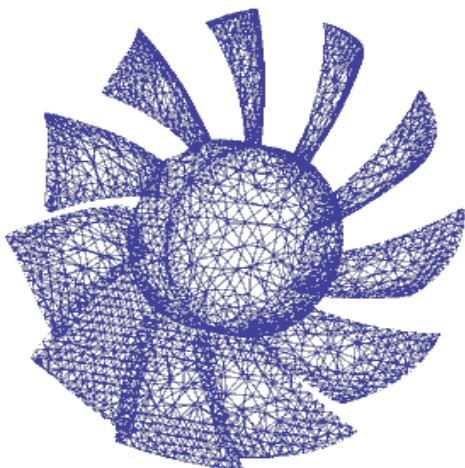


*Absorbční molitanová profilovaná vrstva – obr. 34*

U ventilátorů platí mezi hlukem a otáčkami přímá úměra. Čím vyšší budou otáčky ventilátoru, tím vyšší bude jeho vyzařovaný hluk. Máme však jisté body rezonance a ustálených kmitů při určité úrovni otáček. Ale toto je pouze přechodný jev a mohou k němu přispívat jisté faktory, jako např. tvar rotoru, tloušťka listu, materiálové složení, konstrukční provedení, apod. Některé z těchto jevů, jakož i chování samotného ventilátoru neřešit dnes již pokročilými programy, jako je například ANSYS, kde metodou konečných prvků se mohou simulovat různé stavy na modelu (obr. 35) dynamických zařízení (v našem případě ventilátorů).

U většiny počítačů lze seřadit komponenty podle množství generovaného aerodynamického hluku, způsobovaného ventilátory následovně:

#### **Zdroje aerodynamického hluku počítačů:**



- ventilátor procesoru (CPU)
- ventilátor grafické karty (GPU)
- ventilátor chipsetu
- přídatné ventilátory ve skříni
- ventilátor napájecího zdroje

*Ukázka modelu rotoru ventilátoru v MKP (Nidec) - obr. 35*

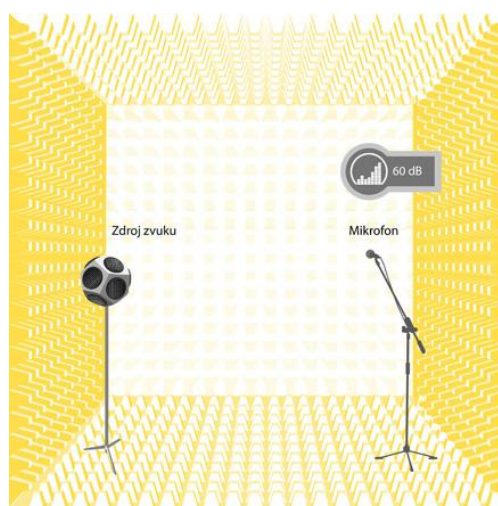


## Postupy měření hlasitosti

Při měření auditorní hlasitosti porovnáváme tuto úroveň hlasitosti v reálné místnosti (obr. 36) ve vztahu k úrovni hlasitosti v akusticky mrtvé komoře, tzv. bezdozvukové komoře (obr. 37) při použití stejného zdroje zvuku. Naším cílem, jako u velkých místností je ztlumit případné dozvuky a rezonance, i když na mnohem menší úrovni a to uvnitř počítačové skříně, kde tak navodíme tzv. akustickou pohodu. Tato měření demonstrují vliv odrazů v místnosti na úroveň hlasitosti, jak je znázorněno na obrázcích 36 a 37. Tuto metodu můžeme použít i v praxi při měření hlasitosti vyzařovaného hluku počítačem.



*Reálná místnost - obr. 36*



*Bezdozvuková komora - obr. 37*

Při měření objektů vyzařujících hluk je třeba zachovávat jisté postupy a směrnice určené pro tato měření, abychom výsledné hodnoty mohly považovat za co nejpřesnější a objektivní. Proto se zavádí evropské standardy pro měření takovýchto zdrojů hluku, které jsou směrodatné pro udávání hlučnosti výrobků podléhajících kontrole EU před vstupem na trh. Na valné většině elektrických výrobků je dnes běžně udávanou veličinou hluk, který tento výrobek vydává při svém provozu. Je udáván v nejrozšířenějších jednotkách akustické intenzity – dB.

Pro zcela přesné měření akustické intenzity je třeba laboratorní vybavení a přesně definovaný technologický postup měření. To bohužel v našich podmínkách není možné, proto půjdeme méně náročnou cestou: výkony ventilátorů neměřit absolutně, nýbrž vzájemným porovnáním. To by ale v žádném případě nemělo znamenat, že výsledky nebudou použitelné - naopak: místo suchých čísel hodláme vybrané ventilátory (jako zdroje aerodynamického hluku) otestovat v podmínkách co nejbližších běžnému použití v praxi, tedy ve skříních počítačů.

## Způsoby měření hluku (akustického výkonu, akustické intenzity)

### Akustický výkon:

Akustický výkon je nejdůležitější charakteristikou zdrojů zvuku, která umožňuje srovnání zdrojů mezi sebou, jejich hodnocení pro potřeby technické akustiky a v neposlední řadě také jejich hodnocení z hlediska vlivu na člověka. [5] Jeden z principů akustického výkonu je založen na měření akustického toku (intenzity) uzavřenou plochou, uvnitř které bude umístěn zvukový zdroj. Toto lze popsat pomocí rovnice:

$$W = \oiint_{(S)} \vec{I} \cdot n \cdot dS \quad (10)$$

Kde  $\vec{I}$  je akustická intenzita,  $S$  je uzavřená plocha a  $W$  je akustický výkon.

Je vhodné volit jako uzavřenou plochu kolem měřeného zdroje krychli či kvádr. Proto integrál (10) upravíme s ohledem na to, že běžná intenzitní sonda měří pouze složku akustické intenzity v jednom směru a v případě měření výkonu volíme právě tuto normálovou složku vzhledem k měřicí ploše.

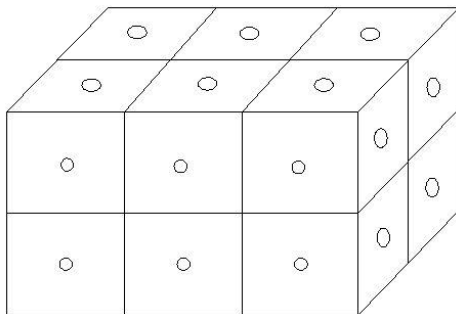
$$W = \oiint_{(S)} \vec{I} \cdot n \cdot dS = \oiint_{(S)} I_n \cdot dS \quad (11)$$

### Pro praxi jsou dvě možnosti aproximace plošného integrálu:

- a) Měření v bodech (obr. 37) – zde je integrál nahrazen sumou

$$W \approx \sum_{i=1}^N I_{ni} S_i \quad (12)$$

Kde  $I_{ni}$  je normálová intenzita měřená intenzitní sondou uprostřed elementu plochy  $S_i$ ,  $N$  je počet elementů, na které je obalová měřicí plocha rozdělena.



Měření v bodech na ohraničené ploše – obr. 37

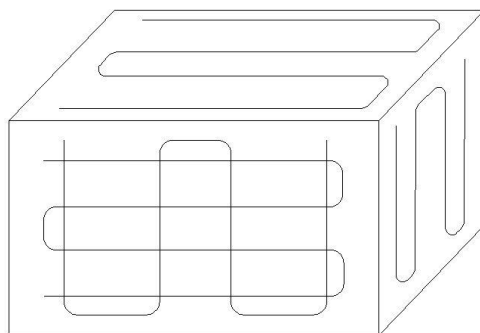
b) Měření metodou skenování (obr. 38). Element plochy  $S_i$  nahradíme  $dS = Ddl$ , kde  $l$  je element dráhy sondy a  $D$  je konstantní šířka pásu. Integrál (12) pak bude vypadat takto:

$$\int_{(S)} I_n dS \approx \int_{(l)} I_n D dl = D \int_{(l)} I_n \frac{dl}{dt} dt = D \int_0^{T_s} I_n v_s dt \quad (13)$$

Bude-li rychlost pohybu sondy po dráze konstantní, pak ji můžeme vyjádřit  $v_s = l/T_s$  a uvědomíme-li si, že platí  $Dl = S$  získáme tvar:

$$W \approx S \frac{i}{T_s} \int_0^{T_s} I_n dt \quad (14)$$

Z tohoto integrálu je patrné, že časová integrace, která probíhá během měření je zároveň integrací po měřící ploše – skenování.



*Měření metodou skenování, naznačení drah – obr. 38*

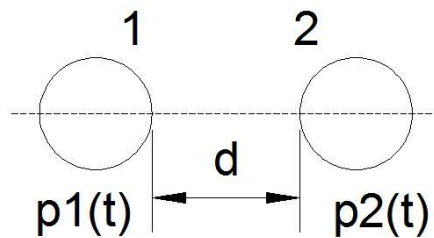
Stejně jako u většiny akustických veličin je zvykem vyjadřovat tyto veličiny ve formě hladin, proto pro akustický výkon používáme hladinové vyjádření, lépe využitelné v praxi v jednotkách dB (decibel) dané vztahem:

$$L_p = 10 \log \frac{P}{P_0} [dB] \quad (15)$$

kde  $P_0 = 10^{-12} W$

## Měření akustické intenzity:

V současnosti jsou nejrozšířenější intenzitní sondy založené na měření akustického tlaku ve dvou blízkých bodech (obr. 39). Tato dvoumikrofonní sonda, využívající dva kondenzátorové mikrofony nese někdy označení též jako p-p sonda. Uspořádání těchto dvou mikrofonů může být různými způsoby, avšak nejčastěji se používá uspořádání čely k sobě, při kterém je pro zlepšení fázové charakteristiky, a také pro přesné vymezení vzdálenosti mezi ochranné mřížky mikrofonů obvykle vložena distanční vložka.



*Schéma dvoumikrofonní sondy – obr. 39*

- Popis: - mikrofón č.1 – 1
- mikrofón č.2 – 2
- akustický tlak na mikrofón č.1 -  $p_1(t)$
- akustický tlak na mikrofón č.2 -  $p_2(t)$
- vzdálenost mikrofonů od sebe –  $d$  [mm]

Dvoumikrofonní sonda (obr. 40) má svá omezení, která vyplývají z použitých aproximací. Nejvýznamnější je frekvenční omezení, které je jak u nízkých, tak u vysokých frekvencí. Frekvenční omezení souvisejí především s aproximací akustické rychlosti. Pro nízké frekvence je odhad gradientu akustického tlaku ovlivněn pouze přesností fázové shody mezi kanály, ale ta je však konečná, a proto pro velmi nízké frekvence, respektive velké vlnové délky bude měřený fázový rozdíl maskován fázovou chybou. [5]

Jak bylo zmíněno dříve, intenzitometry určují jednak velikost složky intenzity v daném směru a zároveň taky orientaci.



*Ukázka páru mikrofonů na intenzitní sondě – obr. 40*



## Měření rychlosti proudění vzduchu – výkon ventilátorů:

K účelům zjištění rychlosti proudění vzduchu se používá měřicí přístroj zvaný anemometr. Tento přístroj k měření rychlosti využívá sondu (obr. 41) se čtyřlístým rotorem, který se vlivem byť i sebemenšího průtoku vzduchu roztočí a po příslušné korekci podává informace o rychlosti jeho proudění.



*Sonda anemometru se čtyřlístým rotorem – obr.41*

Měřicí přístroj (konkrétně typ HH-31A – obr. 38) je schopen svou 1" sondou (obr. 42) zachytit rychlost proudění v rozsahu od 60 do 6800 FPM (Foot Per Minute - stop za minutu) nebo 0,3 až 35 MPS (Metr Per Second - metrů za sekundu) s rozlišením 1FPS/0,01MPS a odchylky  $\pm 0,5\%$ . [12]



*Ruční digitální anemometr, typ HH-31A – obr. 42*

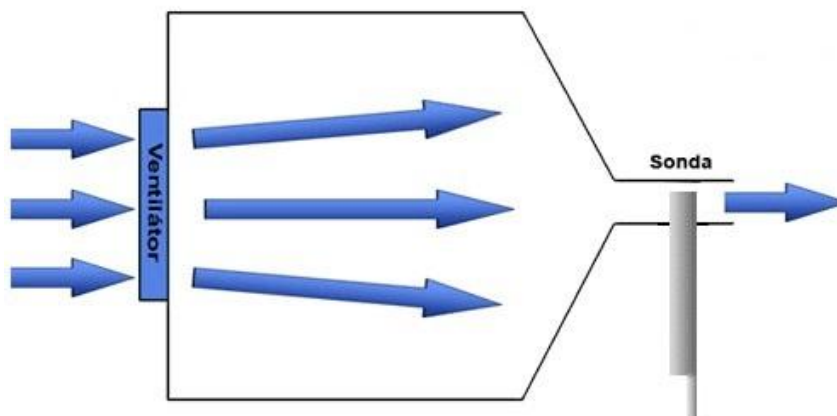
Pokud například bude vzduch proudit rychlostí 50 FPM skrz kruhový nebo čtyřhranný otvor o povrchu  $2 \text{ ft}^2$ , pak stačí tyto hodnoty mezi sebou vynásobit a dostaneme objem vzduchu rovných 100 CFM, neboli  $169,6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Budeme se bavit o (v našich končinách jinak nepříliš zabydlených) kubických stopách, protože těmito jednotkami popisuje specifikace ventilátorů většina výrobců, musíme si uvědomit vztah pro přepočet na evropské míry, tedy do metrické soustavy. Přepočet CFM na  $\text{m}^3/\text{h}$ , musíme vynásobit číslem 1,696. Ventilátor s výkonem 100CFM bude tedy moci být označen i jako  $169,6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## Metodika měření výkonu ventilátorů:

K tomuto měření je nezbytně nutné mít zdroj proudění vzduchu, tedy ventilátor (měřený objekt) a měřící prvek – sondu. Pro nejlepší způsob měření byl vybrán podle zkušenosti a znalosti o proudění vzduchu zužující se prostor (pro představu jakýsi trychtýř), na jehož silnějším konci je umístěn měřený objekt – ventilátor a na zužující se straně (výpusti) pak měřící sonda. Toto měření však může znevýhodnit měření ventilátorů větších průměrů, jelikož tlak vyvinutý těmito ventilátory bude vzhledem k ventilátorům menšího průměru jistě nepoměrně vyšší a tím pádem sonda umístěná v hrdle trychtýřovitého prostoru bude klást podstatně vyšší odpor proudícímu vzduchu. Řešení, je tedy v úpravě části se sondou, kdy plocha výpusti, která bude sice menší než plocha ventilátoru, ale současně však nebude zcela vyplněna plochou měřící sondy (zahrazena sondou), takže zvýšení tlaku v ústí výpusti nebude tak markantní.

Pokud bychom použili pro vedení vzduchu od ventilátoru trubku o průměru shodném s průměrem ventilátoru, pak by její stěny mohly ovlivňovat výkon jednotlivých ventilátorů a některé tak oproti jiným zvýhodnit. V testovacích laboratořích se využívají větší boxy, které nenarušují tlaková pole a teprve až z těchto boxů je proudící vzduch vyveden na sondu (obr. 43).



*Měřicí box pro určení rychlosti proudění vzduchu – obr. 43*

Tyto testy se provádí především pro osvědčené, tiché a kvalitní ventilátory, jenž lze u nás zakoupit, a které se nejčastěji používají v běžných počítačových sestavách. Jejich výsledkem je pak vzájemné srovnání výkonu, tlaku (nebo tahu, důležitého pro "vyfukující" ventilátory ve skříní) a efektivity ventilátorů při různých otáčkách (provozních režimech).

## Hlukoměr - měřicí sonda:

Jako přístroj pro měření úrovně hluku [dB] volím ruční hlukoměr od firmy *VOLCRAFT*, model 329. Je dodáván především na německý a rakouský trh, proto se na jeho částech vyskytují i německé popisky (*Schallpegelmessgerät*, viz obr. č.45). Avšak přístroj samotný má dialogová okna, a také veškeré popisky ovládacích prvků v angličtině viz obr. (č.44). Jelikož se nejedná o laboratorní měřicí zařízení, jeho rozlišovací schopnost měření není příliš velká a omezuje se na jedno desetinné místo (desetiny dB). Jak bylo již výše zmíněno, jde o ruční zařízení, proto je vhodné při požadavcích na přesnější měření dodržet co nejpřesnější polohy a vzdálenosti od měřeného objektu, v našem případě ventilátoru, či počítačové skříně. Z tohoto hlediska jsme zvolili uchycení přístroje na přenosný stojan/stativ (viz obr. č. 46). Samotné čidlo pro měření hluku je umístěno na hrotu a chráněno plstí proti vniknutí nečistot a utlumení rázových zvukových vln. Přístroj má 4 přepínatelné rozsahy, pro co nejpřesnější měření. Hlukoměr je napájen 9V baterií typu 6F22, umístěnou ve spodní, zadní části přístroje.

### Popis přístroje:



*Popis měřicího přístroje - obr.44*



*Display hlukoměru - obr.45*



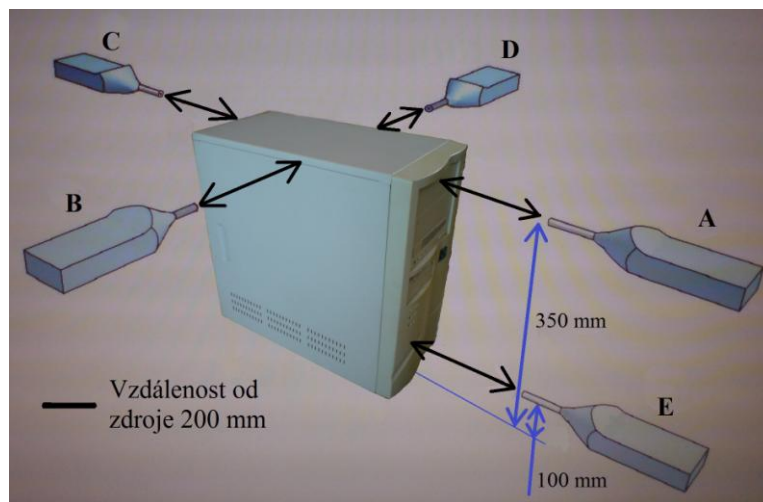
*Uchycení na stativ - obr.46*

## Měření

### Podmínky měření:

Měření probíhalo v suchém prostředí o relativní teplotě 21°C v místnosti s relativním dozvukem a odrazem zvuku, tzn. místnost můžeme považovat za akusticky mírně tlumený prostor s ohledem na rozložení nábytku a podlahové i stropní krytiny (podlaha pokryta kobercem – zvukoizolační vrstva, strop pokryt polystyrénem – absorpční měkká tlumící vrstva). Celkový objem místnosti, v které bylo měření prováděno je 42 m<sup>3</sup>.

Měřený objekt – počítač běžného typu (staršího provedení) byl umístěn do středu této místnosti a měřicí sonda pak byla umístěna na stativu, kvůli přesnému dosažení polohy pro měření, které je znázorněno na obr. 47. I když se jedná o ruční měřicí zařízení, je vhodnější kvůli již zmíněné přesnosti a eliminaci chvění v ruce a dodržení přesné vzdálenosti jej takto umístit, jak již bylo znázorněno na obr. 46. Jednotlivé pozice jsou pro pořádek označeny písmeny A, B, C, D, E. Takto označené polohy jsou pak snadno identifikovatelné v tabulce naměřených hodnot – tabulka 5.



Polohy sondy pro měření hluku PC – obr. 47

Pro každou polohu byly provedeny tři měření, což sice není příliš přesné, ale vzhledem k relativní stejnoměrné hlučnosti z pokusného měření vyplývá, že naměřené hodnoty se liší v řádu desetin dB. Proto lze konstatovat, že vyzařovaný hluk počítačem se šíří přibližně stejně jako od bodového zdroje. Tyto závěry mohou být způsobeny nepřesností přístroje a jeho malou rozlišitelností.

**Tabulka naměřených hodnot pro měření PC (dle obr. 47):**

<b>Poloha MP</b>	<b>Hladina hluku [dB]</b>
<b>A:</b>	56,5
	56,2
	56,9
<b>B:</b>	55,9
	56,4
	56,4
<b>C:</b>	56,5
	55,9
	56,5
<b>D:</b>	57,1
	56,6
	56,7
<b>E:</b>	56,3
	56,3
	56,5

*Tabulka č. 5*

**MP** – měřicí přístroj

Konfigurace měřeného počítače není příliš podstatná, jelikož se zaměřujeme na jeho aerodynamický hluk vytvářený prouděním vzduchu ventilátory. V měřeném počítači byly v době měření instalovány tři ventilátory, což je u dnešních počítačů standardní počet.

Jednalo se o ventilátory: - procesoru (CPU) -  $\varnothing$  50 mm

- grafické karty (GPU) -  $\varnothing$  40 mm

- zdroje (power supply) -  $\varnothing$  80 mm

Tyto tři ventilátory produkovaly celkem 57 dB, což je na dnešní počítač ne příliš přijatelná hodnota. Ale vzhledem k tomu, že tento zdroj hluku bývá umístěn většinou pod stolem, bude jeho hlučnost do jisté míry omezena polohou.

## Závěr

V průběhu této práce jsme se mohli seznámit s charakteristikami zvuků, hluků a ostatních souvisejících veličin a jejich vlastností. Poukázali jsme na faktor působící na člověka, jeho důsledky a dopady. Cílem práce bylo zhodnotit vliv aerodynamického hluku na celkový vyzařovaný hluk počítačem. Z daných poznatků vyplývá, že tento hluk tvoří auditorní složku celkového hluku osobního počítače. Probrali jsme také alternativní možnosti chlazení a celkové dnešní standardy, používané při chlazení jednotlivých komponent. Jak je patrné z části o snižování tohoto hluku, lze jeho snížení dosáhnout nejlépe regulací ventilátorů umístěných v počítači, nebo tyto sériově dodávané ventilátory nahradit ventilátory s lepšími charakteristikami. Ať už se jedná o průtok vzduchu, ale především o zmiňovanou hlučnost. Především jsme se zabývali vyzařovaným aerodynamickým hlukem způsobeným především těmito ventilátory a turbulentním prouděním vzduchu, který vytváří.

Závěrečné zhodnocení a doporučení je následující:

- a) Uspořádat jednotlivé komponenty v počítači tak, aby netvořily výrazné překážky cirkulujícímu vzduchu. Pokusit se umístit karty do slotů na místa s dostatečným prostorem pro přívod a zároveň odvod chladicího média – vzduchu. Veškerou kabeláž, jakož i datové sběrnice a vodiče ostatních typů použitých uvnitř skříně upevnit a organizovat tak, aby nebránily průchodu hnaného vzduchu.
- b) Otvory pro ventilátory (vpusti/vývěvy) mechanicky odstranit nedostačující perforace plechu a nahradit je mřížkami z kruhového drátu. Podle posouzení a praktických zkušeností i samotná mřížka z kruhového drátu přece jen klade menší odpor proudícímu vzduchu, a proto se přikláním k variantě nezakrývat části výdechu běžně nepřístupných jako je zdroj uvnitř počítače, přední přídavný ventilátor schovaný pod plastovým čelem skříně, zadní ventilátor na zdroji stejně jako pomocné ventilátory v zadním čele skříně. Počítačové ventilátory, nemají takový točivý moment a příliš vysoké otáčky a velkou kinetickou energii, aby v případě náhodného kontaktu s prsty mohli způsobit zranění. Je třeba pouze dbát na to, aby nedošlo ke kontaktu s vyvedenými vodiči, jelikož by mohlo dojít k poškození případně zničení ventilátoru, ale to je extrémní případ, kterého by si jistě každý uživatel všimnul.
- c) Posledním krokem je snížit otáčky ventilátorů způsobem popsáným výše v kapitole „Regulace ventilátorů“ jelikož sériové ventilátory pracují na maximálních otáčkách daných přiloženým napětím a konstrukčním provedení. Úměrným snížením těchto otáček snížíme i hlučnost ventilátoru a zároveň prodloužíme jeho životnost.

## Seznam použitých zdrojů a literatura:

- [1] KRÁTKÝ, O. - ECOPO, Akustika - Technický specialista - Saint-Gobain Ecophon  
<[http://www.ecophon.cz/templates/weblistpage\\_\\_\\_\\_\\_99294.aspx](http://www.ecophon.cz/templates/weblistpage_____99294.aspx)>
- [2] ŠTĚPÁNEK, J. - PC tuning, Odhlučnění od A do Z  
<[http://pctuning.tyden.cz/odhlucaeni\\_od\\_a\\_do\\_z/pokud-penize-cestaci](http://pctuning.tyden.cz/odhlucaeni_od_a_do_z/pokud-penize-cestaci)>
- [3] SPEK, H.F., NELISSEN, P.J.M. - Advanced Low Noise Cooling Fans, EPRI Cooling Towers and Advanced Cooling Systemes. Int. Conference, St. Peterburg, 1994
- [4] MADEJEWSKI, B. - Aeroakustika, Základy teorie a aplikace na konstrukci letadel, Vysoké učení technické v Brně – fakulta strojní, 1986
- [5] BROTHÁNEK, M., JIŘÍČEK O. - Měření akustického výkonu pomocí akustické intensity, Katedra Fyziky, FEL-ČVUT
- [6] VÁGNER A., JUŘENA, S. - Computer 13,14/2007 Články: Jak počítač k tichu přišel, Chladicí dvojčata, Bezpečnost především
- [7] HODGSON, M., Li, I. - Experimental study of the noise emission of personal computer cooling fans, 2006, [www.elsevier.com/locate/apacoust](http://www.elsevier.com/locate/apacoust) ,  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [8] ZAPLETAL, R. - Modelování hluku uvnitř počítače pomocí MKP. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s.
- [9] PIŠTÁČEK K. - Analýza hluku počítačů. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, květen 2008. Rozsah: 43 stránek. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
- [10] NEŠETŘIL Č. - Modelování šíření hluku uvnitř počítače. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, květen 2007. Rozsah: 31 stránek. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
- [11] WIKIPEDIE - otevřená internetová encyklopedie, Kategorie: Hudební terminologie, Akustika, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hluk>
- [12] VÍTEK, J. - Testovací metodika výkonu ventilátorů, Rubrika / Chlazení a skříně / Ventilátory, 24.10.2006, zpráva: [www.svethardware.cz](http://www.svethardware.cz)
- [13] FRAŇA, K., HORÁKOVÁ K. - Teorie a modelování generace hluku a jeho šíření ve vzdáleném poli. Technická universita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra energetických zařízení, leden 2007, rozsah 29 stránek.
- [14] NOVÝ, R. – Hluk a chvění, České vysoké učení technické v Praze, 2009. 400 stran ISBN 978-80-01-04347-9

## Seznam symbolů, zkratk:

Zkratka	Popis
PC	Osobní počítač (Personal komputer)
Case	Počítačová skříň
Fan	ventilátor
HDD	Pevný disk (harddisc)
Motherboard	Základní deska
Chipset	Čip na základní desce
CPU	Procesor (control processor unit)
GPU	Grafický čip (grafic processor unit)
VGA	Grafická karta (videoa graphic adapter)

## Seznam veličin a jednotek:

Značka	Popis	Jednotky
T	teplota	°C
t	čas	s
c	rychlost zvuku	m.s <sup>-2</sup>
U	elektrické napětí	V
I	elektrický proud	A
P	výkon	W
L <sub>p</sub>	akustický tlak	dB
L <sub>w</sub>	akustický výkon	W
d	tloušťka / vzdálenost	mm
p	tlak	Pa
f	frekvence	Hz
v	rychlost	m.s <sup>-2</sup>
m	hmotnost	kg
ρ	hustota	kg.m <sup>-3</sup>
ø	průměr	mm
rpm	otáčky (rate per minute)	ot.min <sup>-1</sup>
CFM	průtok vzduchu (Angl.)	f.t <sup>-2</sup>
FPM	stopa za minutu (Angl.)	f.min <sup>-2</sup>
MPS	rychlost (Evr.)	m.s <sup>-2</sup>