

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

SNIŽOVÁNÍ HLUKU POČÍTAČŮ POMOCÍ LADĚNÝCH
REFLEXNÍCH TLUMIČŮ

Noise control of computers-application of tuned reflective absorber

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADIM PLCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.

BRNO 2009

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá příčinami vzniku hluku u počítačů a možnosti jeho snižování pomocí reflexního tlumiče. Je provedena diskuze o účinnosti a vlivu protihlukového opatření použitého ve vnitřním prostoru počítače se zaměřením na obkládání vnitřních stěn skříně počítače. Pro potřebu práce byl použit hlukoměr.

Abstract

Presented bachelor thesis deals with the causes of noise in PCs and a possibility of noise reducing, using reflective silencers. A debate is conducted on the effectiveness and impact of anti-noise measures used in the inner area of the computer, with a focus on tiling the walls of internal computer chassis. For the purpose of the work was used sound meter.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením mého vedoucího bakalářské práce doc. RNDr. Karla Pellanta, CSc. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Brně dne 29.05. 2009

.....
Radim Plch

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu doc. RNDr. Karlu Pellantovi za cenné rady, věcné připomínky a také za trpělivost, kterou projevoval v průběhu vzniku této práce. Rád bych také poděkoval své rodině za maximální podporu po celou dobu studia.

Obsah

1.	Charakteristika problému a cíle řešení	7
2.	Úvod	8
	2.1 Zvuk a jeho vlastnosti	8
	2.2 Základní pojmy v akustice	11
	2.3 Hlavní zdroje hluku v počítači	18
	2.3.1 Hluk od vibrací (mechanický)	18
	2.3.2 Aerodynamický hluk	18
3.	Možnosti snížení hluku uvnitř počítače	19
	3.1 Analýza zdrojů hluku v počítači	19
	3.2 Snížení hlučnosti vhodným výběrem chladicího systému	21
	3.2.1 Pasivní chlazení	22
	3.2.2 Aktivní chlazení	24
	3.2.3 Chlazení vodou	25
	3.2.4 Snížení hlučnosti odstraňováním příčin hluku	25
	3.3 Vliv konstrukce ventilátoru na jeho hlučnost	26
	3.4 Možnosti použití zvukově pohltivých materiálů pro snížení hluku vzdušného počítačem	28
4.	Použití reflexního tlumiče	31
	4.1 Testovaná sestava	31
	4.2 Výpočet neprůzvučnosti desek v systému Matlab	34
	4.3 Návrh absorbčního tlumiče umístěného na vnitřních stěnách počítačové skříně	39
	4.4 Měření pomocí hlukoměru	40
	4.4.1 Výsledky měření	41
	4.4.2 Závěr měření	47
5.	Závěr	48
	Seznam použité literatury	49

1. Charakteristika problému a cíle řešení

S počítačovou technologií a rozvojem výkonů počítačů vzrůstá i množství generovaného tepla, který má negativní vliv na životnost součásti daného zařízení. Přehřátí může i za daných okolností způsobit selhání funkčnosti anebo i k nevratnému zničení komponent citlivých na přehřátí např. procesoru, grafické karty, operační paměti, pevného disku atd. Chlazení komponent je ve většině případů realizováno pomocí ventilátorů, které jsou jedním z hlavních zdrojů generovaného aerodynamického hluku šířící se do okolního prostředí. Mezi mechanickým a akustickým výkonem existuje přímá úměrnost, což je jeden z důvodů růstu hlučnosti.

V poslední době je i hodně diskutovaná otázka o vlivu působení hluku na člověka a jeho snížení na přijatelnou úroveň, která by měla být podle Světové zdravotní organizace pod úroveň 35 dB [1]. Toto kritérium bývá v současné době často překročeno. Přitom bylo prokázáno, že při nadměrné hlukové expozici se snižuje produktivita a kvalita práce, dochází ke snižování koncentrace a na zvýšení únavy popř. vzniku stresu, zvýšení tepové frekvence a krevního tlaku. Škodlivé působení hluku na člověka vedlo proto mnoho vyspělých zemí k legislativním opatřením, jejichž výsledkem je řada zákonů, norem a jiných právních předpisů zajišťující ochranu lidí před nadměrným hlukem a vibracemi jak v oblasti komunální hygieny, tak i na pracovištích.

Hygienické požadavky v ČR jsou z hlediska hluku na pracovištích upraveny [14]:

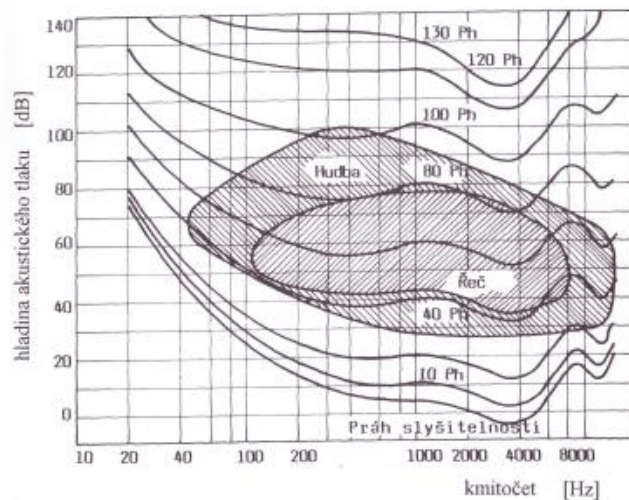
- a) vyhláškou MZ ČSR č.13/1977 Sb."o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací",
- b) navazujícími hygienickými předpisy
 - č. 41, sv.37/1977 Nejvyšší přípustné hodnoty hluku a vibrací,
 - č. 42, sv.37/1977 Směrnice, jimiž se stanoví způsob měření a hodnocení hluku a ultrazvuku v pracovním prostředí.
- c) metodickým pokynem Hlavního hygienika ČSR "Metodika pro hodnocení zvuku v horní okrajové oblasti slyšitelných kmitočtů" uveřejněným v Příloze č.14/1981 AHEM, IHE Praha.

Cílem této práce je optimálně navrhnout snížení vyzařovaného hluku vně počítače použitím reflexních a absorpčních tlumičů s cílem dosáhnout úrovně hluku 35 dB.

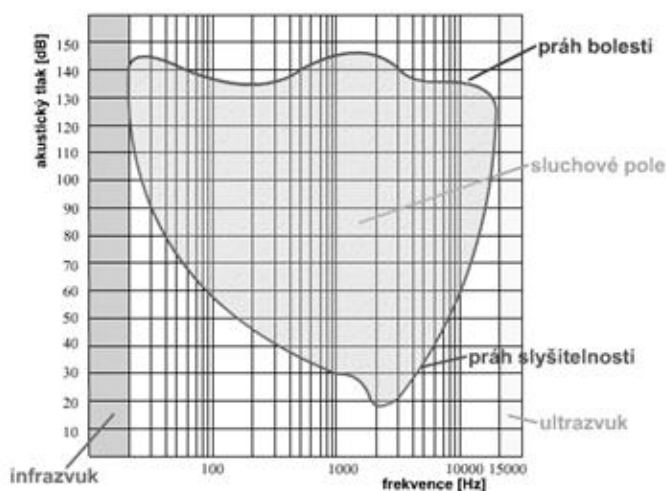
2. Úvod

2.1 Zvuk a jeho vlastnosti

Z fyzikálního hlediska představuje zvuk mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu normálního lidského sluchu od 16 Hz do 20 kHz (obr. 1). Kmitavý pohyb je fyzikální děj, u něhož se v závislosti na čase střídavě (periodicky) mění charakteristické veličiny, např. poloha, rozměr, tlak, rychlost apod. Zvuk se šíří od zdroje prostřednictvím zvukové vlny nazývané také vlnoplochou, kterou se přenáší akustická energie. O frekvenci nižší než 16 Hz označujeme za infrazvuk, o frekvenci nad 20 kHz za ultrazvuk (obr. 2). Při posuzování hluku se nejčastěji zabýváme hlukem, který se šíří vzduchem, ovšem může to být voda i pevné látky atd. Za hluk označujeme jakýkoliv nepříjemný, rušivý nebo pro člověka škodlivý zvuk. Zvukové vlny se však od zdroje mohou také šířit stavební nebo strojní konstrukcí a následně mohou být vyzářeny do pracovního prostoru. Subjektivně rozeznáváme hlasitost, výšku a barvu zvuku. Podle časového průběhu rozdělujeme hluk na impulsní nebo neimpulsní, a ten dále na ustálený, proměnný či přerušovaný.

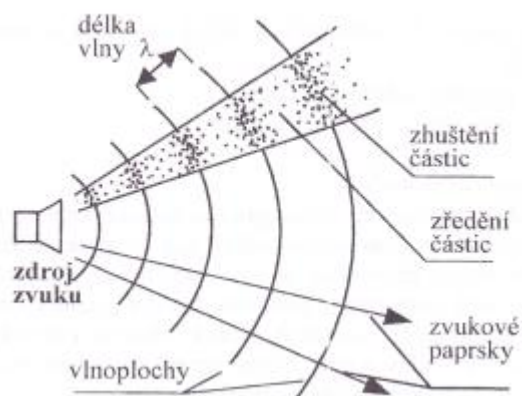


Obr. 1 Kmitočtové a amplitudové složení lidské řeči [3]



Obr. 2 Vymezení sluchového pole člověka [3]

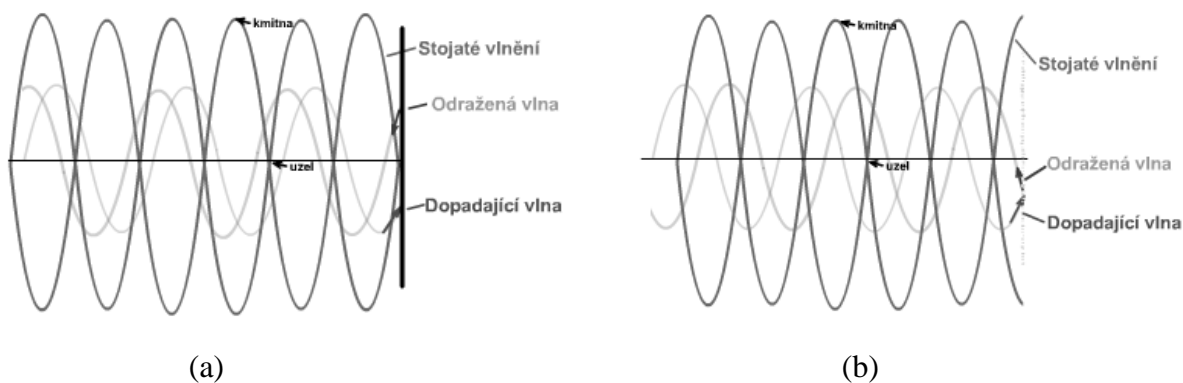
Prostřednictvím akustických vln se přenáší mechanická energie kmitajících částic od zdroje (obr. 3). Kolmice na vlnoplochu se nazývá akustickým paprskem. Na spojnici všech bodů vlnoplochy je v daném časovém okamžiku stejný akustický stav a částice kmitají se stejnou fází i rychlostí. Od bodového zdroje zvuku má vlnoplocha tvar koule, jeli zdrojem rozměrná deska, případně pro hodně velké vzdálenosti od zdroje můžeme ve volném prostoru považovat vlnoplochy za rovinné.



Obr. 3 Vlnění v pružném prostředí [11]

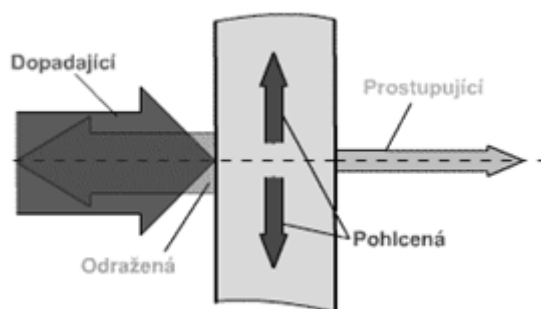
Šíření zvukových vln v akustickém prostředí popisují různé fyzikální vlastnosti zvuku, mezi nich patří pokles akustické intenzity se vzdáleností a dalšími faktory. Vlny se odrážejí, lámou, ohýbají, podléhají tlumení i sčítají se s jinými vlnami.

Pokud na akustické rozhraní dopadá vlnění, dochází k průchodu a odrazu šířícího se vlnění. V jaké intenzitě se odrazí, závisí hlavně na materiálových vlastnostech stěny a její tloušťky. U pevné stěny dochází ke zpětnému odrazu vlnění s opačnou fází, jestliže to je poddajná stěna, dochází taky k odrazu vlny, ale se stejnou fází. V obou případech odražená vlna pak postupuje proti směru vlny dopadající na stěnu a může docházet k jejich interferenci (obr. 4). Výsledkem je stojaté vlnění, skládající se z uzlů a kmiten (body v prostoru neustále v klidu a maximálním pohybu).



Obr. 4 Vznik stojaté vlny pro stěnu pevnou (a) a poddajnou (b) [2]

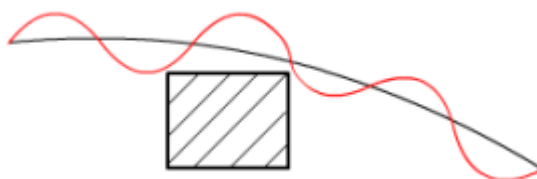
V reálném prostředí se zvuk šíří od zdroje k posluchači konečnou rychlostí. Ve volném i uzavřeném prostoru je dominantní přímá vlna postupující po přímce mezi místem, kde zvuk vzniká a místem jeho příjmu. K místu poslechu čelo zvukové vlny dorazí se zpožděním, daným rychlostí šíření zvuku a se stejným zpožděním po zániku zdroje dorazí i tyl vlny. Pokud se celý děj odehrává v uzavřeném prostoru, přistupují k přímé vlně ještě i vlny, které se odrazí od stěn, které tento prostor ohraničují. Odražená vlna se k posluchači nešíří přímo, ale odrazem od stěn či jiných předmětů. Díky tomu je její dráha delší a do místa poslechu dorazí se zpožděním jak její čelo, tak i tyl, protože při každém odrazu dochází i k částečnému pronikání vln za akustické rozhraní. V místě poslechu se odražená vlna skládá s vlnou přímou a mění tak charakter přijímaného zvuku, v prostoru pak vytváří obecné zvukové pole. Vlna se od stěn odráží pod stejným úhlem, v jakém na ně dopadá, přitom její amplituda je nižší než amplituda vlny dopadající.



Obr. 5 Šíření energie vln [2]

Část energie dopadající (přímé) vlny se odrazí zpět do prostoru před stěnou. O tom, kolik z dopadající energie se odrazí, rozhodují zásadní měrou vlastnosti stěny. U akusticky odrazivé plochy (tzv. akustického zrcadla) je poměr energií takřka 1:1 (všechna se odrazí zpět - tvrdé a masívní materiály), u akusticky pohltivé plochy se poměr blíží 1:0 (neodrazí se téměř žádná energie - měkké a poddajné materiály, např. závěsy, pěnové hmoty apod.). Poměr dopadající a odražené energie je u většiny reálných překážek kmitočtově závislý (pro některé kmitočty je plocha akusticky odrazivá, pro jiné neutrální a pro jiné pohltivá). Energie, která se neodrazí, postupuje dále "dovnitř" překážky, kde se jednak pohltí či rozptýlí a projde stěnou na druhou stranu (obr. 5).

Dalším jevem, který ovlivňuje šíření zvukových vln v prostoru je ohyb. Vyskytují-li se v poslechovém prostoru objekty, jejichž rozměry jsou srovnatelné s délkou zvukové vlny (pro slyšitelné frekvence to jsou centimetry až jednotky metrů), zvuková vlna se kolem nich ohne (obr. 6). Proto ještě více než odraz a lom jsou vlastnosti ohybu tedy opět frekvenčně závislé. Díky ohybu se zvuk dostane i za překážku [2].

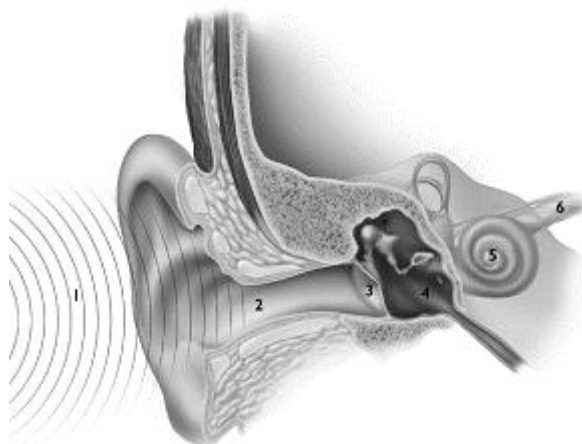


Obr. 6 Ohyb zvukové vlny [2]

Z hlediska šíření a vyzařování zvuku je ohybové vlnění nejnebezpečnější. Při ohybovém vlnění částice materiálu kmitají v kolmém směru k povrchu součásti, čímž je umožněn přenos energie kmitání na částice vzduchu, které součást obklopují. Tato součást se stává akustickým zářičem. Ohybové vlnění je také velmi důležité z hlediska neprůzvučnosti dělicích prvků, které mají vesměs charakter desek, neboť je příčinou jimi vyzařovaného hluku.

Při současném výskytu v prostoru dvou a více vln, dochází v každém bodě k jejich interakci podobně jako u odražených vln. Posлуhač proto vnímá součet těchto vln a podle toho jak se vlnění odráží v uzavřeném prostoru, mění se lokálně i hodnoty hladiny akustického tlaku. V uzavřeném prostoru může být v místě poslechu hladina hluku vyšší nebo nižší v závislosti na to, zda v tomto místě dochází ke konstruktivní nebo destruktivní interferenci mezi přímým a odraženým vlněním, interferenční jev je přitom závislý na frekvenci šířících se vln [2].

Na obrázku (obr. 7) je vidět 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).



Obr. 7 Řez lidským uchem [7]

Zvuková vlna se šíří tekutinou v hlemýždi a způsobuje vychýlení tak zvané 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 různých výšek tónů. 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 [7].

2.2 Základní pojmy v akustice

Existují dva typy mechanického vlnění příčné (kmity kolmé ke směru šíření vlny) a podélné (jsou se směrem šíření rovnoběžné). Zvuk v prostoru se vždy může šířit jako podélné vlnění, v pevných látkách i jako příčné [3].

Rovnice *výchylky* hmotného bodu bez uvažování tlumení v technické akustice, která přenáší akustický signál, má tvar:

$$u = u_0 * \sin(\omega\tau + \varphi_0) \quad (2.1)$$

kde jsou:

u [m]	akustická výchylka
u_0 [m]	amplituda akustické výchylky
ω [1/s]	vlastní úhlový kmitočet
φ [-]	fázový úhel

Amplituda vlny vyjadřuje velikost maximální výchylky libovolné částice.

Rychlost zvukové vlny

Rychlost podélného šíření akustické vlny v prostředí pro plyny a kapaliny:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{k * \frac{p_b}{\rho}} \quad (2.2)$$

kde jsou:

K [Pa]	modul objemové pružnosti kapaliny
k [-]	Poissonova konstanta
p_b [Pa]	barometrický tlak.
ρ [kg/m ³]	hustota prostředí

V pevných látkách je rychlost šíření *podélné* akustické vlny (2.3) a *příčné* (2.4). Rychlost příčných vln činí cca 62 % z rychlosti podélných vln. V tabulce 2-1 je ukázka rychlosti podélných vln v tekutinách a některých tyčích z různých materiálů.

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} * \frac{1}{1 - \mu^2}} \quad (2.3)$$

$$c_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} * \frac{1}{2(1 + \mu)}} \quad (2.4)$$

materiál	ρ [kg/m ³]	E [N/m ²]	c_L [m/s]	Z [Ns/m ³]
Vzduch 20 °C	1,21		344	4,14.10 ²
Voda 13 °C	1000		1440	5,12.10 ²
Přez měkká	900	4,4.10 ⁴	70	6,3.10 ⁴
Přez tvrdá	1100	2,2.10 ⁹	1400	1,5.10 ⁶
Korek	250	6,3.10 ⁷	500	1,3.10 ⁵
Dřevo bukové	650	1,0.10 ¹⁰	3900	2,5.10 ⁶
Hliník	2700	6,2.10 ¹⁰	4800	1,3.10 ⁷
Ocel	7850	2,6.10 ¹¹	5750	4,5.10 ⁷
Olovo	11400	2,3.10 ¹⁰	1410	1,6.10 ⁷
Pórobeton	900	2,9.10 ⁹	1800	1,6.10 ⁶
Azbestocement	1950	1,8.10 ¹⁰	3040	5,9.10 ⁶
Beton	2300	2,2.10 ¹⁰	3100	7,1.10 ⁶
Cihly	2000	1,6.10 ¹⁰	2800	5,6.10 ⁶
Sádra	1050	4,4.10 ⁹	2040	2,1.10 ⁶
Sklo	2700	7,5.10 ¹⁰	5270	1,4.10 ⁷
Překližka	700	9,3.10 ⁹	3645	2,6.10 ⁶
Sololit	1000	4,7.10 ⁹	2170	2,2.10 ⁶
Polystyrén	13	1,3.10 ⁶	315	4,1.10 ³
Novopdur	1450	1,0.10 ⁹	850	4,8.10 ⁵
Silon	1150	1,8.10 ⁹	1250	1,44.10 ⁶
Plexisklo	1200	3,0.10 ⁹	1580	1,9.10 ⁶
Epoxy 2000	1200	3,5.10 ⁹	1700	2,0.10 ⁶

Tabulka 2-1 Rychlost šíření podélných vln v různých látkách [3]

Skládáním podélných a příčných vln pak vznikají vlny ohybové. Oproti příčné a podélné je ohybová vlna závislá na frekvenci, jak je patrné ze vzorců pro tyče (2.5) a pro desky, kde je zahrnutý vliv kontrakce (2.6):

$$c_B = \sqrt{2\pi * f} * \sqrt[4]{\frac{4E * I}{m'}} \quad (2.5)$$

$$c'_B = c_B * \frac{1}{\sqrt[4]{1 - \mu^2}} \quad (2.6)$$

kde jsou:

I [m ⁴]	moment setrvačnosti tyče
f [Hz]	frekvence vlnění
m' [kg/m]	hmotnost jednotkové délky tyče
E [N/m ²]	modul pružnosti v tahu
μ [-]	Poissonova konstanta

Kmitočet a perioda

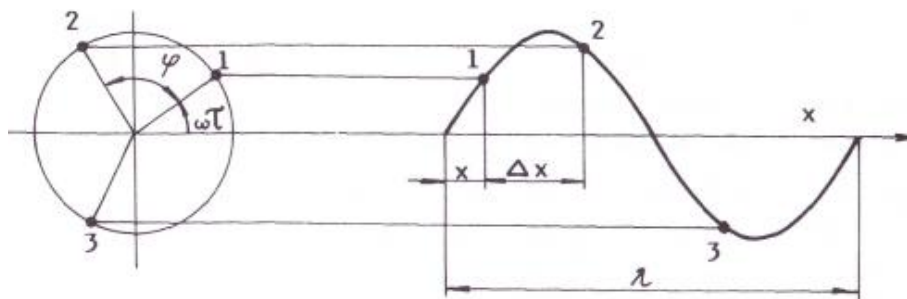
Kmitočet (frekvence) je počet kmitů za jednotku času, které vykoná kmitající bod po své dráze během jedné sekundy. Perioda kmitu vlny je časový interval, kdy daná částice po své dráze urazí jeden kmit. Úhlový kmitočet vyjadřuje změnu úhlové dráhy za jednotku času. Vztah mezi frekvencí f , úhlovou frekvencí ω a periodou T je (2.7):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.7)$$

Vlnová délka a úhlový vlnočet

Vlnová délka je nejmenší měřená vzdálenost, na které dochází k opakování tvaru vlny ve směru šíření vlny a je to taky vzdálenost, kterou urazí vlna během jedné periody (obr. 8). Mezi délkou vlny, frekvencí a rychlostí platí vztah (2.8). Tabulka 2-2 obsahuje hodnoty poměru rychlosti podélných vln v závislosti na frekvenci pro tyče z různých materiálů.

$$\lambda * f = c \quad (2.8)$$



Obr. 8 Akustická výchylka jako funkce vzdálenosti [3]

f [hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ocel	182	91	46	23	11,5	5,70	2,88	1,44	0,72
Hliník	152	76	38	19	9,6	4,80	2,40	1,20	0,60
Olovo	45	22	11	5,6	2,8	1,40	0,7	0,35	0,17
Novodur	27	13,5	7,0	3,4	1,7	0,85	0,42	0,21	0,10
Silikon	40	20	10	5,0	2,5	1,25	0,62	0,31	0,15
Plexisklo	50	25	12,6	6,3	3,2	1,58	0,78	0,39	0,19
Korek	16	8,0	4,0	2,0	1,0	0,50	0,25	0,12	0,06
Měkká pryž	2,2	1,1	0,56	0,28	0,14	0,07	0,03	17mm	9mm
Tvrdá pryž	44	22	11	5,6	2,8	1,40	0,70	0,35	0,17
Beton	98	49	24,8	12,4	6,2	3,10	1,55	0,77	0,39

Tabulka 2-2 Délky podélných vln v tyčích [3]

Občas se můžeme setkat s pojmem úhlový vlnočet tzv. vlnové číslo. Označujeme ho písmenem k , ale pozor nemá nic společného s předchozí konstantou k , což byla Poissonova konstanta, která je bezrozměrová, ale úhlový vlnočet má jednotkou v soustavě SI *radián na metr* a je dáno vztahem:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.9)$$

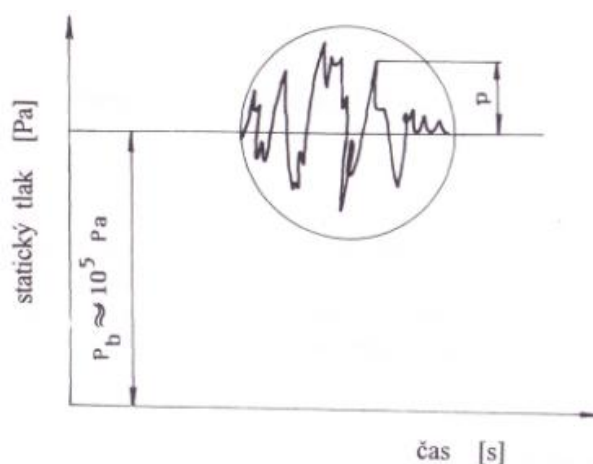
Akustický tlak

Při průchodu akustické vlny v prostředí dochází v určitých oblastech vlny ke zhušťování a snižování hustoty částic viz. obr. 3. Tím nastává přetlak a podtlak, který mění aktuální hodnotu statického tlaku (obr. 9). Jedná se o výchylky malých rozměrů v řádu od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Pro harmonický signál je:

$$p = p_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.10)$$

kde jsou:

p_0	[Pa]	amplituda akustického tlaku
p	[Pa]	komplexní hodnota akustického tlaku
φ	[-]	fázový posun



Obr. 9 Časový průběh celkového statického tlaku ve vzduchu [3]

Akustický výkon

Množství akustické energie procházející za jednotku času myšlenou prostorovou plochou, nazýváme akustickým výkonem a je definován vztahem:

$$\vec{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v = p \cdot v \cdot S \quad (2.11)$$

kde jsou:

p	[Pa]	akustický tlak
v	[m/s]	rychlost kmitání částic
S	[m ²]	plocha

Intenzita zvuku a měrný odpor prostředí

Intenzita zvukové vlny je vektorová veličina, která popisuje množství a směr toku akustické energie v daném místě prostředí. Je to podíl průměrného akustického výkonu, s jakým prochází energie jednotkovou plochou kolmou na směr šíření. Intenzita I je svázaná s amplitudou zvukové vlny u_0 vztahem (2.12) [4]. V technické akustice se používá vztah

součinu efektivních hodnot, kde intenzita zvuku je dána součinem efektivního akustického tlaku p_{ef} (2.13) a efektivní akustické rychlosti v_{ef} . Jelikož nedokážeme přístroji na měření hluku měřit akustickou rychlost, ale jen akustický tlak, používáme u rovinné vlny vztah podílu mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí, která je konstantní (2.14). Po dosazení rychlosti do vzorce $I = p_{ef} * v_{ef}$ dostaneme konečný výraz (2.15) [3]:

$$I = \frac{1}{2} \rho * c * \omega^2 * u_0^2 = \frac{P_0^2}{2 * \rho * c} \quad (2.12)$$

$$p_{ef} = \frac{P_0}{\sqrt{2}} \quad (2.13)$$

$$Z = \frac{P}{v} = \rho * c \quad (2.14)$$

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho * c} \quad (2.15)$$

kde jsou:

I	[W/m ²]	intenzita zvuku
p_{ef}	[Pa]	efektivní akustický tlak
Z	[Ns/m ³]	měrný odpor prostředí

Hladina intenzity zvuku v decibelech

Lidské ucho je schopné slyšet zvuk ve velkém rozpětí a to od 10^{-5} m (u nejhlasitějšího snesitelného zvuku) do 10^{-11} m (u nejslabšího slyšitelného zvuku). Aby bylo snazší používání pro tak velké rozpětí hodnot, používá se funkce logaritmu na výpočet hodnoty hladiny intenzity zvuku, kde $I_0 = 1 * 10^{-12}$ W/m² a každé zvýšení intenzity o desetinásobek odpovídá nárůstu hladiny o 10 dB [4]:

$$L_1 = (10dB) \log \frac{I}{I_0} \quad (2.16)$$

kde je:

I_0	[W/m ²]	referenční hladina intenzity
-------	---------------------	------------------------------

Interference

Zvukové vlnění vykazuje dva mezní případy interference: konstruktivní a destruktivní. Konstruktivní interference nastává v případě, že jsou vlny ve fázi, takže fázový rozdíl φ je nulový nebo celočíselným násobkem 2π (2.17), je-li φ lichým násobkem π , jsou vln v protifázi a nastává destruktivní interference (2.18) [4].

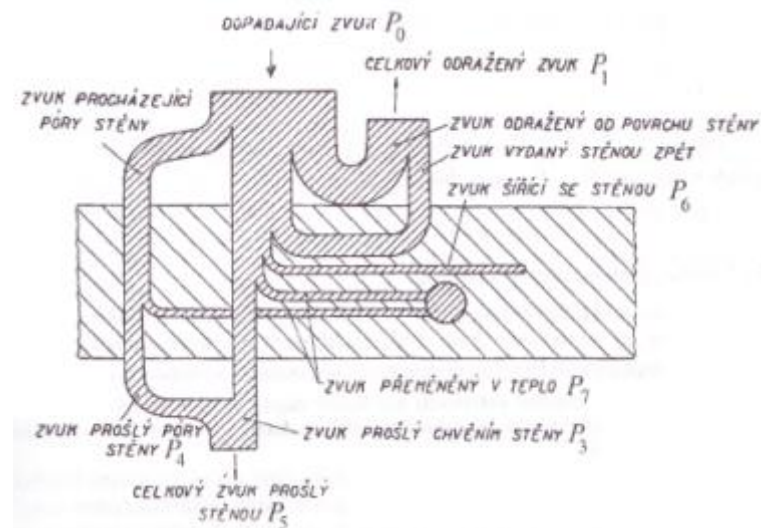
$$\varphi = 2\pi m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.17)$$

$$\varphi = 2\pi \left(m + \frac{1}{2} \right), \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.18)$$

Absorpce zvuku

Při průchodu zvukové vlny materiálem (obr. 10) se část akustické energie přeměňuje na jiný druh energie, obvykle tepelnou. K úbytku akustické energie vzniká trojím způsobem [5]:

- třením mezi pohybujícími se vzduchovými částicemi a materiálem
- snížením potenciální energie zvukové vlny způsobeným poklesem akustického tlaku
- nepružnou deformací těles pohltivého materiálu



Obr. 10 Průchod zvuku stěnou [5]

Schopnost materiálu nebo konstrukce pohlcovat zvuk charakterizujeme *činitelem zvukové pohltivosti* α , který je dán poměrem pohlceného P_2 a dopadajícího P_0 akustického výkonu (2.19). Akustická pohltivost se mění s frekvencí, značíme ji α a nabývá hodnot od 0 do 1. V tabulce 2-3 najdeme přehled některých činitelů pohltivosti materiálů. Podobně lze definovat *činitele zvukové odrazivosti* β , který je dán poměrem odraženého P_1 a dopadajícího P_0 akustického výkonu (2.20). *Činitel zvukové průzvučnosti* τ poměrem prošlého P_5 a dopadajícího P_0 akustického výkonu (2.21). Veličiny α , β , τ nabývají hodnoty 0 až 1. Pro pohltivé materiály a konstrukce je τ řádově nižší než α a β a je možné psát $\alpha + \beta \approx 1$ [5].

$$\alpha = \frac{P_2}{P_0} \quad (2.19)$$

$$\beta = \frac{P_1}{P_0} \quad (2.20)$$

$$\tau = \frac{P_5}{P_0} \quad (2.21)$$

Materiál	kmitočet f_m [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hladký beton	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Cihlová stěna s hlazenou omítkou	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Sádrová omítka na zdi	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Papírové tapety nalepené na zdi	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
Stěny obložené dřevem	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
Podium s parketami	0,50	0,40	0,25	0,10	0,08	0,11
Guma 5 mm na betonu	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Linoleum přímo na betonu	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Korková podlaha tl. 20 mm	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Měkká rohož 10 mm na betonu	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Okenní sklo	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Koberec kokosový tl. 6 mm	0,15	0,07	0,10	0,19	0,28	0,79
Koberec plyšový tl. 10 mm	0,10	0,10	0,15	0,30	0,60	0,88
Plsf technická tl. 25 mm na zdi	0,12	0,18	0,32	0,60	0,88	0,88
Těžké záclony	0,06	0,10	0,38	0,63	0,70	0,73
Lehké záclony (50% řasení)	0,07	0,31	0,79	0,81	0,66	0,54
Posluchač sedící v místnosti						
1 osoba /m ²	0,16	0,25	0,60	0,70	0,90	0,80
2 osoby/m ²	0,23	0,40	0,85	0,88	0,92	0,92

Tabulka 2-3 Hodnoty činitele pro různé materiály [3]

Son (jednotka hlasitosti) 1 son je hlasitost jednoduchého tónu (zvuku) o kmitočtu 1 kHz a na hladině (intenzitě) 40 dB dopadající zpředu rovinnými vlnami, nebo jednoduchého zvuku, který vnímá lidské ucho stejně hlasitě. Má-li zvuk hlasitost subjektivně 2 x vyšší, je jeho hlasitost 2 sony atd. [2].

2.3 Hlavní zdroje hluku v počítači

V místě ve kterém je generována zvuková energie představuje místo zdroje hluku, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. V počítačových skříních může být těchto míst několik, v podstatě kdekoliv, kde je generován nějaký pohyb ať už mechanický nebo aerodynamický (ventilátory, mechaniky, disky apod.). Některé zdroje hluku jsou stálé (např. ventilátory bez regulace otáček) nebo sekvenční (např. disky, mechaniky, ventilátory s regulací otáček), které následně dokážou jistým způsobem rozkmitat i celou konstrukci počítačové skříně. U obou zdrojů platí zásada, čím větší otáčky, tím je i zpravidla vyšší hodnota vytvářeného hluku. Mezi nejčastější příčiny s největším podílem vytvářeného hluku patří [6]:

- vibrace částí konstrukce skříně počítače
- nárazy pohybujících se součástí uvnitř počítače
- nestacionární a turbulentní proudění vzduchu od ventilátorů (aerodynamický hluk)

2.3.1 Hluk od vibrací (mechanický)

Vlivem působení budících sil dochází ke vzniku vibrací pevnofázových struktur. Mechanické kmity se pak z místa působení síly přenášejí konstrukcí na rozměrnější povrchové plochy a ty se jednak vyzářují v podobě akustické energie do okolí počítače a případně přenášejí do konstrukcí základny (bočních krytů, podlahy apod.). Na přenosu a vyzářování zvukových vln se tedy nepodílejí jen ty součásti, jež jsou funkčně v poli působících sil, ale i ty části, které jsou ke konstrukci pevně připevněny. Přitom tento dodatečný hluk pak mohou způsobovat hlavně části, které nejsou pevně dotaženy a při vibracích narážejí do ostatních částí. Primární příčinou vzniku hluku od vibrací může být [6]:

- vůle v uchycení komponentů.
- vůle v pohyblivých částech.
- nevyváženost rotujících částí.
- tření nerovností povrchů v rotujících částech.

2.3.2 Aerodynamický hluk

Pro chlazení součástí, které vytváří tepelnou energii, je nejvíce rozšířené chlazení pomocí proudu vzduchu. Aerodynamický hluk takto vzniklý určuje celkový hluk počítače a mezi hlavními příčinami vzniku patří:

- proudění podél pevných těles vytvářející vířivé proudění v mezní vrstvě.
- pohyb pevných těles v nerovnoměrném proudícím prostředí nebo přerušování tohoto

proudění např. sirénového hluku ve ventilátorech.

- pulzující proudění prostředí vyvolané např. otáčením listů ventilátoru.
- turbulentní nebo pulzující výtok vzduchu z otvorů do klidného prostředí.
- nestacionární, vířivé případně turbulentní proudění vznikající při obtékání pevných těles tvořících překážky v proudícím vzduchu.

Možnosti snížení generovaného hluku vyplývají z hlavních příčin jeho vzniku. V praxi je možné oddělovat zdroje hluku pomocí vložných tlumičů, používat povrchy silně absorbující zvuky apod. [6]. Hluk vytvořený ventilátory je však poměrně širokopásmový, takže potlačování nízkých frekvencí pomocí zvukoizolačních resp. zvukoabsorpčních vrstev je velmi obtížné. Proto možnosti z tohoto důvodu jsou omezené a povrchová nebo vnitřní absorpce je účinná jen na vysokých frekvencích.

3. Možnosti snížení hluku uvnitř počítače

V současné době je na trhu nabízeno mnoho možností, které výrazným způsobem snižují úroveň hluku počítače. Již při samotném výběru jednotlivých komponent, popřípadě sestavy počítače, by měl být kladen důraz na kvalitní chlazení. Aby chladicí systém v počítači nezpůsobil vznik vzduchových turbulencí či sirénovitého hluku uvnitř počítače, je důležitým faktorem při jeho zabudování tvar a poloha. Pro tento účel už bývají ventilátory zpravidla opatřeny vhodným „zapouzdřením“ proudícího vzduchu pomocí kulisových tlumičů ve tvaru válce. Pořízení nové počítačové sestavy s kvalitním chlazením však nemusí nutně znamenat, že její hladina hlučnosti je již konečná. Opořebením součástek během provozu vede ke zvyšování hluku. Tento jev je nejvíce patrný u aktivních ventilátorů, kde dochází k postupnému opořebením ložisek. Nižší výsledný hluk můžeme docílit i tím, že jednotlivé komponenty s aktivním chlazením nahradíme pouze pasivními chladiči. Technologický skok v tomto chlazení přinesla až technologie systému „Heatpipe“. Další možností snížení hluku, která hodně získává na oblibě je vodní chlazení. Nevýhodou je jeho pořizovací cena a složitější instalace.

3.1 Analýza zdrojů hluku v počítači

V kapitole 2.3 jsme se mohli dozvědět, jaké jsou hlavní zdroje hluku v počítači. Nyní si probereme jednotlivé komponenty ve skříni z hlediska hlučnosti a samotnou skříň, která se taky podílí na šíření hluku.

Počítačová skříň (case) se dělá v několika provedení podle velikosti (desktop, micro tower, mini tower, midi tower, big tower) a druhu použitého materiálu (nejběžnější jsou z ocelového plechu a hliníku). Na trhu je k dostání velké množství počítačových skříní od různých výrobců za nízké ceny, ale většinou je to v důsledku snížení kvality a využití kompromisních řešení. Použité materiály a konstrukce perfektnímu odhlučnění tomu pak příliš neprospívají, i když počítačovou skříň je možné jednoduše upravit tak, aby byly odstraněny alespoň základní zdroje hluku.

Základem všeho je materiál. Pokud je celá case vyrobena z měkkého ocelového plechu o tloušťce 0,6 mm, tak pro tichý počítač nebude zrovna to pravé. Jestliže je použito 1 mm

ocelového nebo 1,5 mm hliníkového plechu, bude situace pravděpodobně lepší. Tyto údaje se dají najít v popisu zboží apod. Pokud by byl slabý materiál použit pouze na bočnice a konstrukce byla kvalitní, tak by nebyl až takový problém, ale v okamžiku, kdy se konstrukce sama o sobě krouží a zpevní ji až instalovaný hardware, tak zde není něco v pořádku. Kvalitní konstrukce se dá poznat i absencí velkého množství prolisů a záhybů, které málokdy mají nějakou estetickou nebo funkční vlastnost, primárně slouží pro zpevnění. Dá se říci, že určitým způsobem je hliníková case dobrá pro kvalitní základ tichého počítače, ale jejich nedostatkem je vyšší cena. Při výběru počítače je často kupující omezen financemi, a pokud by si měl připlatit, tak většinou si připlatí radši do výkonnější grafické karty nebo procesoru, než aby pro ušetření nějakých těch dB z hlučnosti investoval do case tisíce.

Jednotlivé díly konstrukce skříně jsou totiž většinou k sobě nanýtované a takový spoj nemusí být vždy stoprocentní, stejně tak, jako spojovací plochy. V důsledku vibrací od pevného disku, optické mechaniky nebo přídavných ventilátorů se vibrace přenášejí potom na konstrukci skříně, tak následně na podložku, apod. a hned máme hlučný počítač. Tento problém se dá snadno eliminovat a to tím, že se izolují všechny díly na kontaktních plochách [7].

Pevný disk (HDD) a optické mechaniky jsou zdrojem vibrací, které pak napomáhají tvorbě hluku spolu s nekvalitní konstrukcí počítačové skříně. Rotující části disku (plotny) vytvářejí ve svém okolí nestacionární proudění, jehož výsledkem je pak vznik turbulence. Základní předpoklad je zamezit přenosu vibrací na konstrukci skříně, k čemuž je ideálním prostředkem použití nějakých silentbloků určených pro HDD. Dražší variantou je umístění disku do boxů, který nám disk ztlumí a navíc efektivně i ochlazuje (obr. 11). Pevný disk je přesto dobré opatřit ještě aktivním ventilátorem a to z toho důvodu, že vysoká teplota mu rozhodně nesvědčí. Doporučená teplota pro HDD je okolo 40 °C, ale je lepší udržet teplotu pod tuto hranici. Vysoká teplota totiž degraduje materiál a magnetizovaná látka plotny se může vlivem vysoké teploty poškodit a tím zmizí i data. Vyšší teplota je jednou z nejčastějších příčin selhání pevných disků.



Obr. 11 Prostředky na snížení hlučnosti HDD [12]

Napájecí zdroj PC dříve byl osazen 80 mm ventilátorem ve svislé poloze k zadní stěně počítače, dnes se přešlo na 120 mm ventilátor umístěné ze spodní strany, který velice příznivým způsobem napomáhá k odvodu celkového tepla z case. Větší ventilátor je jistou zárukou nižší hlučnosti, protože při větším průměru a zachování objemu protékajícího vzduchu je schopen fungovat na nižších otáčkách, proto tedy i nižší hlučnost. Některé značkové zdroje mají navíc jednu výhodu, většina z nich mají nastavitelný cablemanagement, což znamená, že můžete připojit pouze ty kabely, které opravdu potřebujete. Důležitým parametrem je taky

účinnost, která je už běžně kolem 82% a čím je účinnost vyšší, tím méně vyzařovaného tepla je produkováno zdrojem.. Nemá cenu však zrovna na zdroji šetřit, což však bohužel mnoho lidí dělá. Mezi kvalitní výrobce počítačových zdrojů patří např. Enermax, Seasonic, Fortron nebo Tagan, atd. [7].

Bezesporu k nejvíce hlučným částem v počítači v dnešní době patří hluk od ventilátoru procesoru a grafické karty. SpeedFan je jednoduchý program na zjišťování teploty procesorů a otáček ventilátorů, který komunikuje prostřednictvím základní desky. Proto měří jen ty ventilátory, které jsou zapojeny přímo do základní desky. Pokud si myslíte, že ventilátor je dosti hlučný, stačí tímto programem zkontrolovat rychlost otáček a teplotu dané komponenty (pokud ovšem podporuje monitoring, u starších sestav většinou se dá zkontrolovat jen stav otáček ventilátoru). Jestli se přehřívá a je to důvodem zvýšení otáček, je doporučeno se poohlídnout po novém lepším chlazení. Další situace může nastat, že tichý chladič se stane časem hlučným. V tomto případě je doporučený jednou začas vyndat chladič z procesoru a pomocí stlačeného vzduchu (k sehnání i v obchodech s výpočetní technikou) vyfoukat nahromaděný prach, který se usadil jak na lopatkách ventilátoru, tak v žebrování chladiče. Doporučuje se proto jednou začas zbavit v celé case prachu, ale hlavně pozor na *statickou elektřinu*. Jakmile je chladič připraven k instalaci je dobré ještě nanést trochu teplovodivé pasty a pak jen nainstalovat.

Jelikož ventilátory a jejich vliv na hlučnost je dosti podstatný, rozhodl jsem se o nich napsat v samostatné kapitole 3.3 na straně 26.

3.2 Snížení hlučnosti vhodným výběrem chladicího systému

V posledních letech v důsledku rozvoje v oblasti výpočetní techniky došlo k značnému zvýšení nabídky chladicích systémů od různých výrobců. Při dnešním výkonu různých komponent se dnes už chladí cokoli, co produkuje zvýšené množství generovaného tepla, který má pak negativní vliv na životnost součásti daného zařízení nebo i stabilitu celého systému a je nutno ho proto efektivně chladit. V nabídce prodejců nalezneme chladiče pro procesory, chipset, harddisk v různých cenových relacích od různých výrobců. Pro běžného uživatele začíná být nabídka komponent poněkud hodně nepřehledná a tak v naprosté většině případů vybírá pouze podle hlavních parametrů sestavy a chlazení nechává plně na dodávající firmě. Většina chladicích systémů je totiž už ve standardní výbavě přímo od dodavatele (např. s procesorem je dodáván chladič, case je dodávána s jedním nebo dvěma ventilátory), ale hlučnost těchto komponent je dosti vysoká. Při nákupu nové počítačové skříně je dobré se předem informovat o zdroji, který je dodáván se skříní. Pokud zdroj je chlazen 120 mm ventilátorem, je to určitou zárukou tichého chodu během provozu. Větší průměr ventilátoru dovoluje možnost snížení jeho otáček při zachování stejného množství protékajícího vzduchu a tím i snížení vydávaného hluku. Pokud je možnost větší investice, je možno dosáhnout ještě nižší úrovně vyzařovaného hluku.

Za cenu navýšení ceny zhruba 750,- až 2000,- Kč můžeme dosáhnout efektivnějšího a mnohem tiššího chlazení, pokud provedeme následující úpravy:

- a) nahradíme ATX zdroj s 80mm ventilátorem variantou se 120mm ventilátorem.
- b) přídatný 80mm ventilátor nahradíme 120mm ventilátorem.
- c) na procesor dáme ventilátor regulovaný teplotou.
- d) pokud máme aktivní ventilátor 40mm na základové desce je nejlepším řešením nahradit pasivním chladičem.

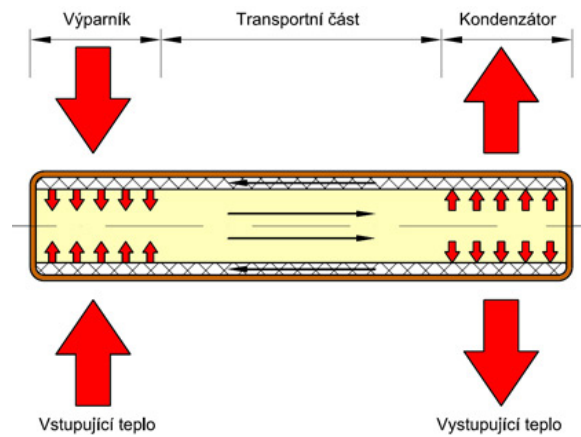
	Cena v Kč	Hlučnost [dB]
Zdroj ATX s 120mm ventilátorem 450 W	700	15
Přídavný větrák 80mm	0	30
Přídavný větrák 120mm	115	20
Větrák na procesor od výrobce	0	45
Větrák na procesor s regulací otáček	430	25
Větrák grafické karty	0	35
Pasivní chlazení grafické karty	435	0
Aktivní chlazení chipsetu základní desky	0	30
Pasivní chlazení chipsetu základní desky	190	0

Tab. 3-1 Srovnání cen a hlučnosti součástí [12]

3.2.1 Pasivní chlazení

Pasivní chladiče (obr. 13) dosahují snížení teploty zvětšením plochy objektu tj. zvýšením hodnoty vyzařovaného tepla. Čím je plocha chladiče větší, tím je možné odvést větší množství tepla, z toho důvodu mají chladiče také žebrovaní. Jednotlivé počítačové komponenty produkují řádově desítky wattů (někdy je to i přes 125 W) tepla. To jsou dost vysoké hodnoty a plocha pro potřebné chlazení by byla příliš velká. To bylo příčinou toho, že se pasivní chladiče začaly opatřovat ventilátory. Prožene-li se po ochlazované ploše větší množství vzduchu, dosáhne se 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. Mimo klasické žebrované chladiče je velký výběr v pasivních chladičích s technologií *heatpipe*. Technologie *heatpipe* je založena na principu uzavřené trubice, kde na jejím "ohříváném" konci je kapalina s nízkým bodem varu, která se zahříváním začíná vypařovat a v plynném skupenství stoupa na "chlazený" konec, kde kondenzuje a po stěnách trubice se vrací v kapalném skupenství zpět. Při ohřevu kapaliny je odpadní teplo z čipu použito na změnu skupenství a ta pak v podobě horké páry putuje na opačný konec, který je nutné chladit

na teplotu, při které para zkondenzuje (obr. 12). Oproti klasické konvenci nabízí technologie heatpipe vyšší účinnost přenosu tepla, ale pouze za předpokladu dostatečného teplotního rozdílu obou konců trubice a její správné orientaci [19]. Musíme ovšem říci, že heatpipe chladiče bývají velkých rozměrů a ne v každém případě je pro toto řešení dostatek prostoru. Pasivními chladiči lze nahradit ventilátory na méně zatěžovaných čipech, jako jsou čipové sady na základových deskách nebo na grafických kartách ve spodní třídě výkonnosti. K dispozici jsou i elektrické zdroje s pasivním chlazením, ale cena nad 4 000,- Kč odradí většinu uživatelů.



Obr. 12 Princip činnosti systému Heatpipe [19]



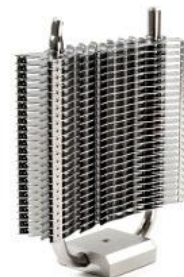
a)



b)



c)



d)

Obr.13 Pasivní chladiče pro a) grafickou kartu, b) paměti RAM, c) procesory, d) chipset [12]

3.2.2 Aktivní chlazení

Chlazení vzduchem je nejrozšířenější a nejdostupnější způsob chlazení. Pro kvalitní a efektivní chlazení komponent uvnitř skříně je nutné, aby se ohřátý vzduch z chladiče odváděl pryč ze skříně počítače a dovnitř byl nasáván chladnější vzduch. K tomu účelu jsou na přední a zadní stěně počítačové skříně vstupní a výstupní otvory pro ventilátory. Ventilátory zajišťují lepší cirkulaci vzduchu uvnitř skříně. Moderní aktivní chladiče (obr. 14) jsou postaveny na technologii heatpipe. V době před sedmi lety bylo na trhu jen pár typů ventilátorů, dnes je k dispozici celá škála, v rozměrech od 40 do 250 mm je jejich použití možné kdekoli uvnitř počítače. Původní 80 mm ventilátory byly dosti hlučné, proto jsou současně preferovány poměrně tiché 120 mm ventilátory s pomalejšími otáčkami. Oproti starým kluzným ventilátorům jsou dnes hlavní trendy v kuličkových nebo fluidních ložiscích. Z těchto jsou nejnáchylnější k opotřebení kuličková ložiska. Největší vývoj prodělaly chladiče na procesory. Jelikož existuje velké množství patič pro procesory, existuje i velké množství chladičů. Vždy se jedná o kombinaci pasivního chladiče (hliníkového nebo měděného) a ventilátoru. Pasivní část (radiátor) je přímo v kontaktu s komponentou a stará se o odvod tepla. Kontaktní plocha pasivu je už většinou z mědi, protože měď lépe odvádí teplo díky lepší tepelné vodivosti (měď má tepelnou vodivost $395 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, hliník $237 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při $25 \text{ }^\circ\text{C}$) [15]. U některých typů jsou používána kuličková, keramická nebo dokonce fluidní (kapalinová) ložiska.



a)



b)



c)



d)

Obr.14 Aktivní chladiče pro a) grafickou kartu, b) pevný disk, c) procesory, d) chipset [12]

3.2.3 Chlazení vodou

Chladicí médium je využívána kapalina. Funguje na principu výměny tepla mezi chlazeným komponentem a chladicí kapalinou. Oproti klasickým ventilátorům je vodní chlazení sice nákladně, ale dosahuje několikanásobně lepších výsledků, a podstatně menším hlukem. Chladicí kapalina nemusí být jenom voda, ovšem je nejdostupnější a má 25 krát vyšší tepelnou kapacitu než vzduch. Na skutečně tichém chodu a vysokém chladicím výkonu vodního chladiče se podílí zejména jeho konstrukce. První je vodní blok, který je v přímém kontaktu s chlazeným komponentem a pomocí cirkulace chladicí kapaliny z něj odebírá teplo. Další součástí je vodní čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci chladicí kapaliny v systému. Pro přepravu kapaliny se používají různé druhy hadiček, které by se neměly snadno lámat a ohýbat. Expanzní nádoba není povinnou součástí, ale zajišťuje optimální zavodnění systému, takže je pro správný provoz žádoucí. Poslední důležitou částí je radiátor, ve kterém se teplá kapalina ochlazuje. Některé typy chladí kapalinu pomocí ventilátorů, jiné pasivním chlazením ve výměníku. Závažným nedostatkem drtivé většiny vodních chladičů bývá absence spínání čerpadla a ochrana před nechtěným odpojením napájení vodního chlazení. Mezi výrobce zabývající se vodním chlazením patří firmy Zalman, Thermaltage, Alphacool atd. [12].



Obr.15 Chlazení vodou od výrobce a) Zalman, b) Alphacool [12]

3.2.4 Snížení hlučnosti odstraňováním příčin hluku

I když to přímo do kapitoly 3.2 nepatří, dá se nepřímou říci, že do chladicího systému to patří uvést. Konstrukce počítačové skříně a vnitřního uspořádání mnohdy napomáhá ke vzniku hluku. Například neuspořádání kabelů a špatně navržené uspořádání komponent může zhoršit proudění vzduchu uvnitř skříně a tak i snížit celkovou efektivitu chlazení. V důsledku toho až zbytečně v některých částech skříně se může teplota zvýšit i o několik stupňů Celsia. Některé ventilátory mají regulaci otáček reagující v závislosti na okolní teplotě, proto hluk od ventilátorů v důsledku zvýšení teploty se může zvýšit i o několik dB. Proto by se nemělo zapomínat i na správné uspořádání kabelů bez zbytečných překážek.

Někteří výrobci komponent se snaží snižovat nároky na chlazení technologicky snižováním odpadního tepla a tím i hlučnosti v režimu sníženého zatížení procesoru. Pro běžného uživatele je tento stav častý, ne všechny programy využívají maximální výkon procesoru. A otázka hlučnosti i snížení provozních nákladů je zde zejména aktuální. Např. firma AMD má tuto technologii pro procesory nazvanou „Cool and Quiet“, firma Gigabyte u základních desek s technologií „Dynamic Energy Saver“.

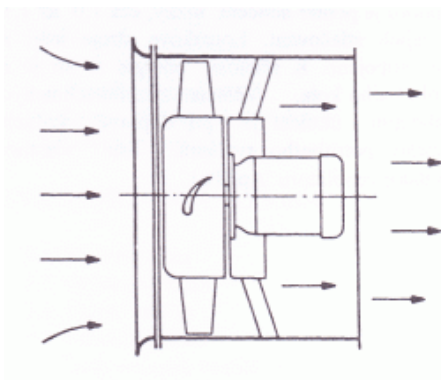
3.3 Vliv konstrukce ventilátoru na jeho hlučnost

Ventilátory můžeme zařadit mezi stroje rotační lopatkové, sloužící k dopravě plynů v našem případě je to vzduch. K přenášení energie ze stroje na plyn dochází vlivem dynamického působení lopatek oběžného kola [8]. Ventilátory podle průtoku plynu oběžným kolem rozdělujeme na radiální, axiální, diagonální a diametrální. Největší zastoupení ventilátorů v počítačových sestavách patří bezesporu typ axiální, a proto v dalším odstavci se budeme věnovat jenom tomuhle typu ventilátoru.

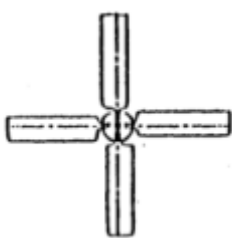
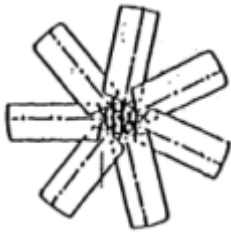
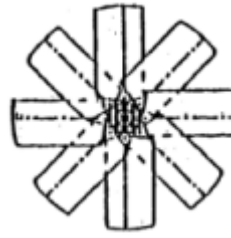
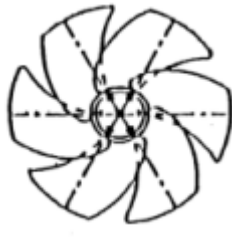
Axiální ventilátory

U axiálních ventilátorů se dopravuje vzduch ve směru osy rotace oběžného kola (obr. 16). Ve statoru se přeměňuje elektrická energie na mechanickou, která nám udává rotor do pohybu. Na rotoru jsou umístěny lopatky a vliv počtu lopatek na některé parametry ventilátoru podle počtu lopatek je znázorněno v tab. 3-1. Množství dopravovaného vzduchu pomocí otáčení ventilátoru závisí hlavně na několika parametrech:

- velikost ventilátoru
- počet vykonaných otáček za minutu
- počet a tvar lopatek
- připevnění ventilátoru



Obr. 16 Axiální ventilátor [8]

Typ ventilátoru				
	Normální	Nízká hlučnost	Velmi nízká hlučnost	Extra nízká hlučnost
Statický tlak [Pa]	110	110	110	110
RPM	117	80	72	72
Obvodová rychlost m/s	52	36	34	32

Tab. 3-1 Rozdílné provedení ventilátorů - při zachování průtoku vzduchu m^3/sec

Příčiny hluku axiálních ventilátorů lze popsat následovně:

- vlastní hluk rotoru, lopatek ventilátoru, který je způsobován laminárními i turbulentními víry. Tyto víry se oddělují a splývají z oblastí odtokové hrany a špičky lopatky.
- dalším zdrojem hluku je turbulence generovaná v hlavním proudu vzduchu a to prouděním kolem nebo uvnitř teplosměnných ploch, nosných rámců a konstrukcí a dalších částí vzduchovodných kanálů, které jsou umístěny proti směru proudění. Tuto turbulenci způsobuje náhodné změny úhlu náběhu na náběžné hraně lopatky s následnou fluktuací zatížení lopatky a rozložení tlaku na povrchu lopatky v širokém frekvenčním pásmu.
- mimo široké frekvenční pásma hlukových úrovní je možné rozpoznat špičky, které odpovídají frekvenci danou součinem otáček a počtu lopatek. Hluk je generován pulsací tlaku při průchodu lopatky v blízkosti náhlých změn směru proudění např. v prostoru podpůrné konstrukce.

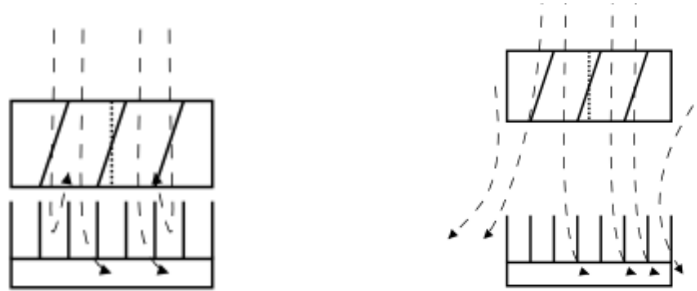
Významný vliv na hladinu hluku má obvodová rychlost špiček lopatek. Snížení obvodové rychlosti špiček lopatek lze dosáhnout zvětšením počtu lopatek a při zachování výkonových charakteristik ventilátoru – průtočného množství vzduchu a tlakové diference.

Charakteristickým prvkem je vliv tvaru lopatek na počet a intenzitu generovaných vírů. Tudiž významným opatřením je volba vhodného obrysu půdorysu lopatky. Při proudění vzduchu kolem takové lopatky je generován menší počet vírů majících nižší intenzitu oproti dosavadním konvenčním tvarům lopatky. Také mezní vrstva, která se vytváří při proudění v radiálním směru podél lopatky má charakter laminární a nedostává se do turbulentních oblastí.

Z možností jak snížit hlučnost ventilátoru je omezit vznik vibrací a sirénového hluku. Vibrace se přes pevné uchycení větráků mohou přenášet do konstrukce skříně a odtud se dále rozšiřovat. U správně navržených a vyvážených ventilátorů by tyto vibrace vznikat neměly. Pružné uchycení větráků lze realizovat pomocí pružných mezičlánků (obr. 17) např. z pryže, které se uchytí ke skříni, anebo se větrák uchytí bez použití šroubů. Samotné použití šroubů je vhodné za předpokladu, že obložení šroubu je opatřeno antivibračním materiálem a použití šroubu s maticí namísto samořezných šroubů. Přesekávání vzduchu lopatkami a rotace ventilátorů v blízkosti ostrých hran vyvolávají sivenový hluk. Frekvenční složení spektra a převládající fázové složky závisejí na rychlosti proudu vzduchu (počtu otáček a počtu lopatek). Snížení hluku lze dosáhnout především snížením rychlosti proudění nebo otáček, zaoblením hran, tvarem a počtem lopatek, zvětšením vzdálenosti stabilních a rotujících částí (obr. 18) [6]. Vhodným výběrem ventilátoru předejdeme většině problémů. Pokud u počítače používáme vzduchový tunel, je vhodně ventilátor oddálit od pasivní části chlazení posunem v tomto tunelu. Vhodným uchycením předejdeme i vibracím.



Obr. 17 Příklady pružného uchycení ventilátoru na pasivním chladiči. [18]



Obr. 18 Proudění vzduchu u těsně a volně umístěného ventilátoru. [18]

Ventilátor je napájen většinou stejnosměrným proudem o napětí 12 V, odebíraný proud se pohybuje v desetinách ampéru, spotřeba maximálně několik jednotek Wattů. Někdy je jejich součástí termistor, který řídí otáčky v závislosti na teplotě. Otáčky a tedy i průtok vzduchu se dá regulovat změnou napětí anebo za pomoci tzv. PWM regulace (modulace šířkou pulzu).

3.4 Možnosti použití zvukově pohltivých materiálů pro snížení hluku vyzařovaného počítačem

Materiály s pohlcující schopností zvuku mají široké uplatnění ve všech oborech. Pro tyto materiály je charakteristická závislost pohltivosti zvuku na frekvenci vlnění (viz. stránka 16). Akustické vlnění od ventilátorů má ovšem širokopásmové frekvenční spektrum a proto ke snížení hladiny akustického tlaku je vhodné použít materiály se širokopásmovým účinkem. Akustická energie se v těchto materiálech přeměňuje na energii jinou (tzv. disipace energie), nejčastěji tepelnou v důsledku tření molekul vzduchu o pohltivý materiál a tím dochází ke zmenšení jejich kinetické energie. Při průchodu akustického tlaku přes vrstevnatá prostředí dochází též k poklesu tlaku jak v důsledku transmisních ztrát přímé vlny na akustickém rozhraní tak v důsledku interferenčních jevů mezi přímou vlnou a vlnami násobně odraženými, oba jevy se při tom kombinují s absorpcí. Výsledkem prvního jevu je v akustice známý nárůst stupně neprůzvučnosti s plošnou hmotností stěny.

K řešení akustických problémů uzavřených prostorů je pohlcování zvukové energie pomocí různých zvukově pohltivých materiálů nejjednodušším řešením. Používají se materiály převážně s porézní strukturou nebo vláknité (různé zátěžové kobercem, deskami z korku, pryže či pěnové gumy, molitanu, polyuretanu) (obr. 19), v jejichž objemu se nacházejí póry vyplněné vzduchem a jejichž povrchová úprava umožňuje pronikání zvukové vlny ze vzduchu dovnitř pohltivého materiálu. Mezi vhodnější materiál patří speciální molitany s vylepšenou odolností proti hoření, minerální plst' a skleněná vlákna. Tyto

materiály máji vysoký tepelně izolační potenciál, protože všechny tyto materiály vlastně fungují jako tepelné izolanty. Proto je nutné si uvědomit, že naprostá většina tepla se odvádí prouděním vzduchu, nikoliv přes konstrukci skříně. Obložení celé skříně je proto nevhodné z důvodu možnosti zamezení správné cirkulace vzduchu uvnitř skříně. Vhodným krokem pro aplikaci zvukově pohltivého materiálu je nejprve zjištění analýzy hluku šíření v počítači a poté izolovat pouze kritická místa. Izolovat pouze rohy není účinné z důvodu maximálních hodnot akustického tlaku a tomu odpovídající malé rychlosti kmitání částic. Z hlediska omezeného množství místa v počítačové skříně je velmi obtížné tlumit frekvence o nízkých kmitočtech, v tomto případě by byla vrstva materiálu příliš silná. Lepší výsledky snížení nízkých kmitočtů má pohltivost obkladu se vzduchovou mezerou (obr. 20) a směrem k vyšším kmitočtům roste a dosahuje určité maximální hodnoty závislé na poréznost použitého materiálu. Tloušťka materiálu odpovídá vzorci:

$$h = \frac{1}{10} * \frac{c}{f_m} \quad (3.1)$$

kde jsou:

h [m] šířka vrstvy materiálu

c [m/s] rychlost zvuku ve vzduchu

Vztah přibližně vyjadřuje tloušťku vrstvy, při níž se materiál stává účinným nad kmitočtem f_m , tedy kdy činitel pohltivosti vzrůstá nad 60%. Ze vztahu (3.1) je zřejmé, že v oblastech nízkých kmitočtů by byla tloušťka materiálu hodně velká. Je nevhodné klást vrstvu materiálu přímo na stěnu, neboť tam je akustická rychlost částic vzduchu nulová a na její velikosti závisí přeměna akustické energie v energii tepelnou. S rostoucí vzdáleností od stěny rychlost stoupá a maximální hodnoty dosáhneme v kmitně vzdálené o čtvrtinu vlnové délky od stěny [6].

Protihluková izolace může přispět k odhlučnění také efektem izotermického rozpínání namísto adiabatického. Pokud má materiál velký povrch (např. vlákna), dochází k ohřátí či ochlazení vzduchu, doprovázejícímu každý zvuk (a patrnému zvláště u nízkých kmitočtů) v mnohem menší míře, neboť teplota je vlákny vyrovnávána. Akustické výpočty naznačují, že takový prostor se pak chová, jako by byl větší (proto se také reprobredny vyplňují speciální vatou) [9].



a) plst'



b) protihluková pěna [12]



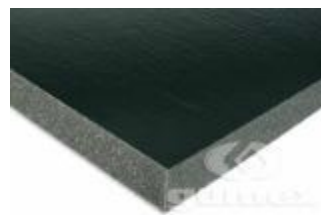
c) korek



d) molitan

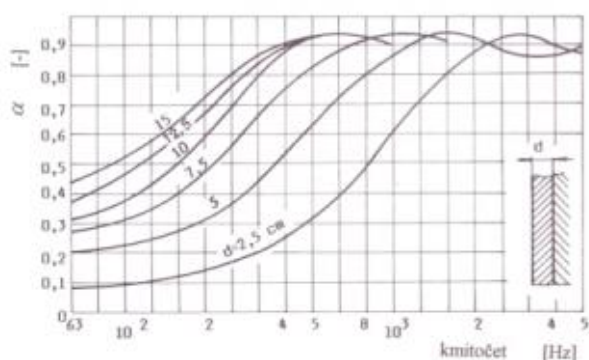


e) zátěžový koberec

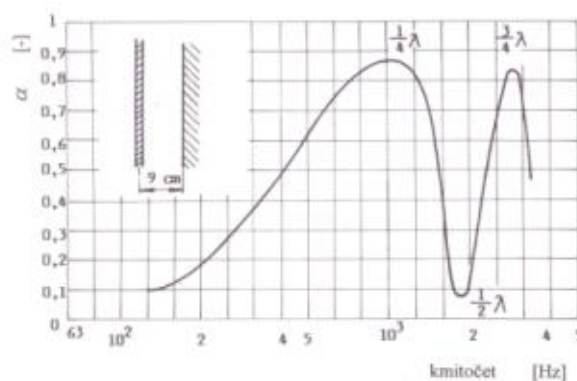


f) protihluková deska [16]

Obr.19 Příklad různých tlumících materiálů



a) technické plsti položené přímo na stěně



b) měkké porézní desky umístěné před stěnu ve vzdálenosti d

Obr. 20 Kmitočtová závislost činitele pohltivosti [3]

Některé počítačové skříně jsou vybavené větrákovým tubusem. Má sloužit k přívodu chladného vzduchu z okolí přímo k dané součásti. Je dobré, aby aktivní ventilátor byl vybaven regulací otáček, protože nám umožní chladit stejně účinně při menším počtu otáček a s nízkou hlučností. Většinou pokud je tubus součástí skříně počítače, bývá materiál často z plastu. Na tubus se z vnějšího okraje může obalit zvukově pohltivým materiálem, ve vnitřním prostoru je dobré použít akustickou pěnu s jehlovým profilem, která se díky svému tvaru dobře ohýbá do sevřeného profilu tubusu a má dobré akustické vlastnosti. Tuto pěnu není problém sehnat v nějakém obchodu s audiotechnikou.

Pokud někdo rád experimentuje s obkládáním vnitřních stěn počítače, je vhodné používat jen izolace z antistatického materiálu. Komponenty ze kterého je poskládán funkční počítač, jsou velmi citlivé na statický náboj, a může v důsledku nesprávné manipulace dojít i ke zničení komponenty.

4. Použití reflexního tlumiče

Reflexní tlumiče jsou založeny na principu odrazu zvukových vln. V našem případě se zvuková vlna bude odrážet od stěny počítačové skříně, dále přes absorpční souvrství o tloušťce 7 mm, které jsme navrhly v odstavci 3.4. Po překonání této izolační vrstvy bude procházet zvuková vlna vzduchovou mezerou a potom narazí na stěnu krytu počítače z plechu o tloušťce 1 mm. U pevné stěny dochází ke zpětnému odrazu vlnění s opačnou fází, zvuková vlna pak postupuje proti směru vlny dopadající na stěnu a vlivem interference může docházet k jejich útlumu. Jak je znázorněno na obr. 10, dojde k dalšímu úbytku akustické energie a k odrazu zvukové vlny jak v důsledku pohlcení absorpčním souvrstvím, tak v důsledku reflexe.

4.1 Testovaná sestava

Sestava použitá pro testování (obr. 21):

- skříň od společnosti Eurocase typ Q11 middle-tower, která má dvě zadní pozice pro ventilátory o rozměru 80x80 mm a jednu přední pozici pro 120x120 mm.
- zdroj Enermax MODU82+ 625W s účinností 82-88 %.
- procesor Athlon 64 X2 6000+ EE od společnosti AMD s originálním chladičem od výrobce.
- grafická karta Gainward GTX260 Golden Sample 896MB DDR3 s dvěma ventilátory
- pevný disk Seagate 320 Gb.
- optická mechanika LITE-ON DVD-RW LH-18A1H
- dva ventilátory 80x80 mm typu Artic-Fan 3 TC s tepelnou regulací na výtlak vzduchu a jeden ventilátor 120x120 mm Artic-Fan na nasávání vzduchu do skříně.
- wattmetr FK6300 od FKtechnics.

Pro zatížení maximálního výkonu procesoru a grafické karty jsme použili software BOINC Manager ver. 6.6.28.



(a) Skříň počítače

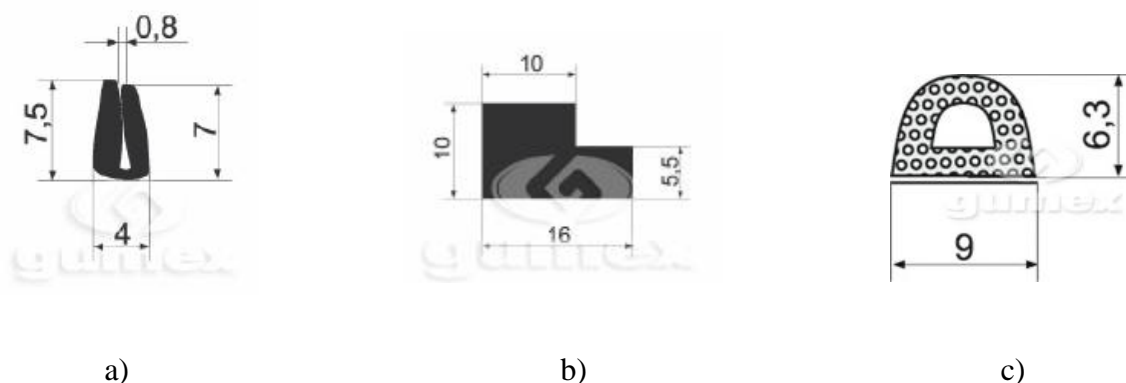


(b) kostra počítačové skříně

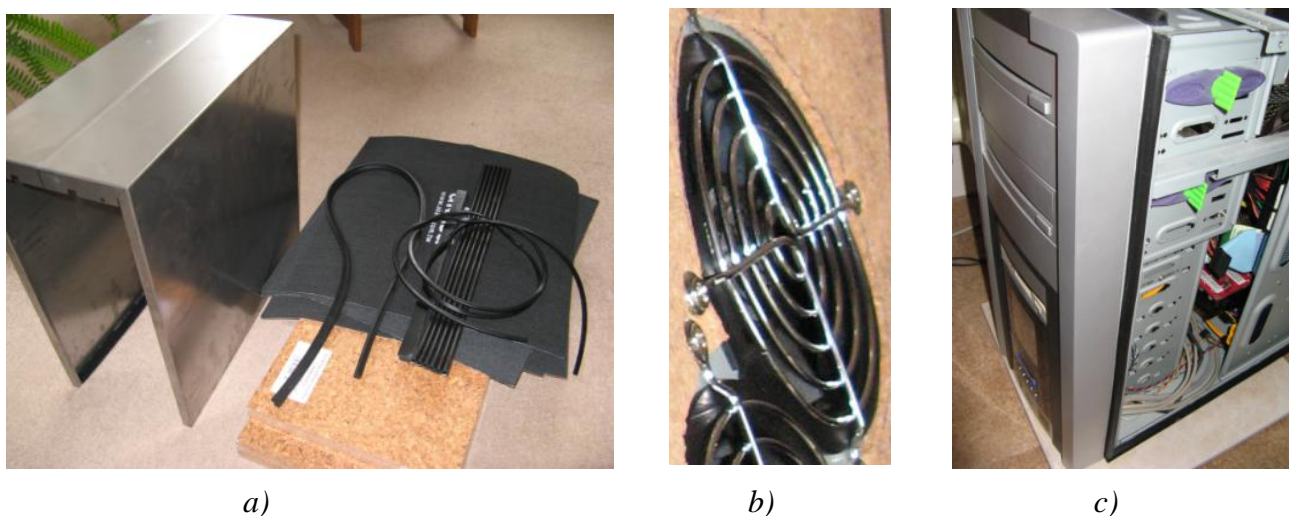
Obr. 21 Testovaná sestava počítače

Základní úprava počítačové skříně před měřením

Pro toto měření jsem si nechal vyrobit nový kryt počítače (obr. 23a) z plechu 1 mm (původní stěna měla 0,8 mm) a boky i výška byly zvětšeny o 15 mm. Zdrojem hluku v tomto případě budou ventilátory od procesoru, grafické karty, dva 80 mm ventilátory v zadní části case na výtlač teplého vzduchu, jeden 120 mm ventilátor na nasávání chladnějšího vzduchu umístěného v přední části case a jeden ventilátor ve zdroji taky 120 mm.



Obr. 22 Pryžové profily [16]



Obr. 23 Základní úprava počítačové skříně pomocí izolačních materiálů

Jedna z prvních úprav skříně spočívala v možnosti eliminace aerodynamického hluku od zadního ventilátoru. Pro lepší průtok vzduchu na výtlač bylo proto odstraněno perforování skříně a nahrazeno drátěnou mřížkou. Na okraj ostrých hran po odstranění perforace byla nasazena lemovka z pryže (obr. 22a), která se taky postarala o snížení vibrací od ventilátoru, protože ventilátor z vnitřní strany konstrukce přilehl na lemovku a nedotýká se přímo konstrukce skříně. Mřížka byla položena na stěně z korku (obr. 23b). Pro maximální odstranění vibrací by se museli použít např. pryžové průchodky pro šrouby.

Tvrdá pryž tvaru L (obr. 22b) se použila na utěsnění spodní hrany krytu. Konstrukce krytu skříně je udělána ohybem a technicky by bylo velmi obtížné boční hranu ještě zahrnout na spodní hraně.

Měkká pryž tvaru D (obr. 22c) se aplikovala na kostru skříně (obr. 23c) a při stlačení s plechovým krytem by měla zajistit dostatečnou neprůzvučnost.

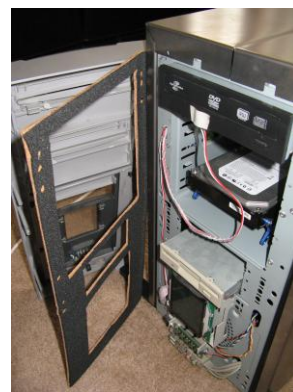
Přední kryt byl vyplněn absorpční vrstvou korek + akustická pěna (obr. 24c).



a)



b)



c)



d)



e)

Obr. 24 Testovaná skříň II

4.2 Výpočet neprůzvučnosti desek v systému Matlab

Použití maticového formalismu pro výpočet neprůzvučnosti reflexních tlumičů.

Z hlediska poklesu úrovně hluku při jeho šíření přes reflexní tlumiče mají zásadní význam čtyři jevy:

- rozšiřování vlnoploch akustických vln určené jednak rostoucí vzdáleností od zdroje a jednak lomem a odrazem na zakřivených rozhraních.
- útlum v důsledku transmisních ztrát na rovinných rozhraních akustických prostředí.
- útlum destruktivními interferencemi mezi přímou vlnou a násobně odraženými vlnami.
- útlum vnitřní absorpcí v materiálech.

V akustice se často setkáváme s konstrukcemi, u kterých se hodnoty akustických parametrů mění podél jednoho směru. V tomto případě je výhodné použití maticového formalismu, který vychází z předpokladu spjitosti sloupcové matice (obsahující jako prvky amplitudu akustické výchylky a akustického tlaku) při průchodu akustickým rozhraním. Splníme-li postupně tuto podmínku na všech rozhraních, získáme relace mezi amplitudou výchylky resp. tlaku v místě vysílače a přijímače tj. můžeme zjistit přenosovou funkci pro vrstevnatá prostředí. Vzhledem k charakteru modelované struktury je možné vyřešit generaci násobných vln analyticky pomocí součtu geometrických řad [10]. Výsledné vztahy jsou přítom ve frekvenční oblasti, takže při maticové metody umožňují provádět studium vlivu mocnosti vrstev, akustických kontrastů mezi vrstvami popř. vnitřní absorpce uvnitř jednotlivých vrstev na přenosové charakteristiky vrstevnatých prostředí bez použití Fourierovy transformace. Maticové metody přitom mají význam jak z hlediska teoretického (umožňují přesné testovací výpočty pro libovolné modely viskoelastických prostředí) a tak i praktického (je možné vypočítávat koeficienty akustické neprůzvučnosti pro dělicí stěny, sendvičová obložení vibrujících zdrojů, vícenásobná skleněná okna, koeficienty odrazivosti absorbujících povrchů s uvážením vlivu podložních vrstev apod.).

Při průchodu akustického tlaku přes vrstevnatá prostředí dochází k poklesu tlaku jak v důsledku transmisních ztrát přímé vlny na akustických rozhraních tak i v důsledku interferenčních jevů mezi přímou vlnou a vlnami násobně odraženými, oba jevy se přitom kombinují s absorpcí. Výsledkem prvního jevu je v akustice známý nárůst stupně neprůzvučnosti s plošnou hmotností stěny. Charakter interferenčních jevů si opět prostudujeme pomocí maticové metody. Pro stavební akustiku má přitom základní význam poloha zdroje nad souvrstvím, přijímač pod souvrstvím tj. *transmisní charakteristika souvrství*

$$S_p^T(\omega) = \frac{R_{12}(\omega)e^{2i\pi f(z_s+H_R)}}{\rho_R} \quad (4.1)$$

kde R_{12} je *transmisní koeficient souvrství*, z_s a H_R jsou vzdálenosti zdroje a přijímače od vrstvy. Z ní pak můžeme dovodit vztah pro výpočet *stupně zvukové neprůzvučnosti stěn*:

$$r = -10 \log(p / p_0)^2 = -20 \log(S_p^T(\omega)) \quad (4.2)$$

Výhodou maticové metody je to, že při výpočtu jsou uváženy všechny násobné vlny (výběr násobných vln obecně při výpočtu paprskovými metodami činí zpravidla potíže), takže vypočítávané frekvenční charakteristiky sendvičových obložení jsou zcela přesné.

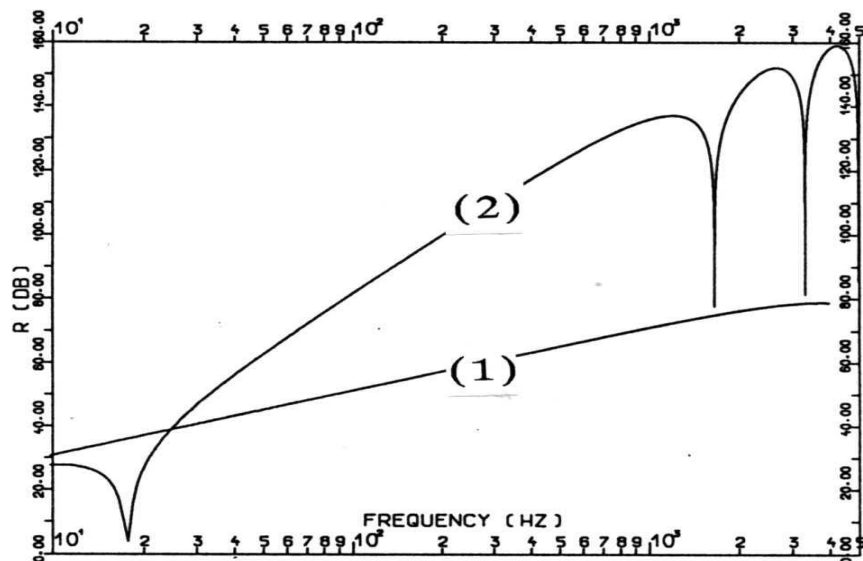
V případě jednoduché vrstvy můžeme řešit problém určení stupně neprůzvučnosti analyticky tj. vyjádřit jej pomocí transmisních koeficientů $T_1(\omega)$, $T_2(\omega)$ a reflexních koeficientů $R_1(\omega)$, $R_2(\omega)$ na rozhraní mezi vrstvou a vzduchem. Pro modul koeficientu průchodu jednou vrstvou pak vychází vztah:

$$R(\omega) = \frac{T_1 \cdot T_2 \cdot \exp\{\alpha_1(\omega) \cdot h_1\}}{\sqrt{1 + R_1^2 \cdot R_2^2 \exp\{-4h_1 \cdot \alpha_1(\omega)\} + 2R_1 \cdot R_2 \cdot \cos\left(-\frac{2h_1}{v_1(\omega)}\right)}} \quad (4.3)$$

kde $\alpha_1(\omega)$ je koeficient absorpce ve vrstvě, v_1 je rychlost zvuku ve vrstvě a h_1 je mocnost vrstvy. Nízkofrekvenčním rozvojem vztahu (4.4) za předpokladu $\bar{T} = \sqrt{T_1 T_2}$, $\bar{R} = R_1 = R_2$ dostáváme pro stupeň vzduchové neprůzvučnosti:

$$R \sim \left(\frac{\bar{R}h_1}{\bar{T}\lambda}\right)^2 \quad (4.4)$$

To znamená, že pro oblast nízkých kmitočtů jsou dělicí stěny neúčinné i při vysokých akustických kontrastech tj. i při „těžkých hmotách“ materiálu izolační stěny. Infinitesimalně tenké stěny se tedy chovají stejně jako při půlvlnné rezonanci, kdy se přímá vlna a všechny násobné vlny sčítají ve fázi a průchod se děje jako kdyby tam stěna nebyla. Ukážeme si tento jev na příkladu stavební cihlové příčky. Z vypočítaných závislostí stupně neprůzvučnosti (obr. 25) je zřejmá výhoda konstrukce opláštění počítače se vzduchovou mezerou. V důsledku transmisních ztrát na větším počtu rozhraní a také v důsledku destruktivních interferencí mezi přímou vlnou a vlnami násobně odraženými je celkový nárůst stupně neprůzvučnosti s frekvencí rychlejší (křivka 2 na obr. 25). Pouze v oblasti nízkých frekvencí kolem $f_1=17$ Hz dochází k úzkopásmovému "průrazu" hluku v důsledku resonance na souvrství jako celku a také na vysokých frekvencích v oblastech $f_{r1}=1651$ Hz, $f_{r2}=3302$ Hz, kdy v důsledku resonancí ve vzduchové mezeře se dvojitá stěna chová jako stěna jednoduchá. Uvážení absorpce ve vzduchové mezeře mezi cihlovými stěnami se vzhledem k poměrně vysoké hodnotě činitele jakosti vzduchu $Q_v=1200$ na akustických frekvencích neprojevuje [10].



Obr. 25 Závislost stupně neprůzvučnosti na frekvenci pro jednoduchou (1) a zdvojenou cihlovou stěnu (2) [10]

Model v Matlabu

Matlab je multifunkční programové prostředí a programovací jazyk pro výpočty, modelování, analyzování, simulací atd. Pro náš účel poslouží k vytvoření modelu neprůzvučnosti v závislosti na frekvenci pro měkkou pryž a ocelovou stěnu. K tomu to účelu je nutné zadat vstupní parametry $T_1, T_2, \alpha, h, Z_1, Z_2, R_1, R_2$ a zadat je do rovnice (4.3). Vstupní parametry jsou :

Pro pryž :

$T_1 = 2Z_2 / (Z_1 + Z_2)$	%transmisní koeficient
$T_2 = 2Z_1 / (Z_1 + Z_2)$	%transmisní koeficient
$\alpha_1 = 0,5 * 2\pi * f$	%koeficient absorpce
$h_1 = 0,005$	% tloušťka pryže
$Z_2 = 63000$	%měrná akustická impedance pro pryž

Pro ocelovou stěnu:

$T_1 = 2Z_2 / (Z_1 + Z_2)$	%transmisní koeficient
$T_2 = 2Z_1 / (Z_1 + Z_2)$	%transmisní koeficient
$\alpha = 0,5 * 2\pi * f$	%keficient absorpce
$h_1 = 0,0008$	%tloušťka plechu
$Z_2 = 45000000$	% měrná akustická impedance pro ocel

$Z_1 = 414$	%měrná akustická impedance pro vzduch
$R_1 = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$	%reflexní koeficient
$R_2 = ???$	%

```

clc;
clear all;

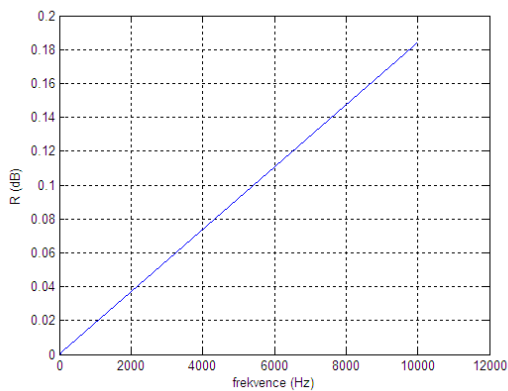
Z1 =414;
%Z2 =63000;      %pro pryž
Z2 =45000000;    %pro ocel
T1 =2*Z2/(Z1+Z2);
T2 =2*Z1/(Z1+Z2);
R1=(Z2-Z1)/Z2;
R2=R1;
h1=0,005;
fi0=0;
fi1=0;

v=344;
%alf=0.5*2*pi*f;

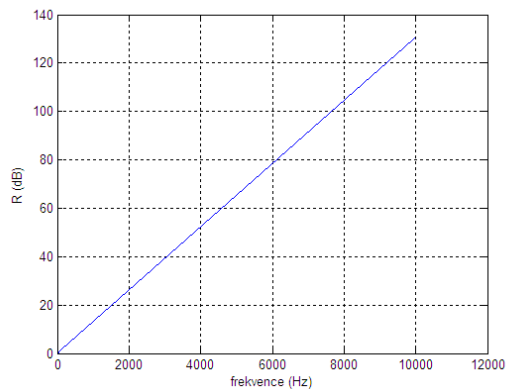
f=0;
R=0;
for i=1:1:10000
    f=f+1;
    alf=0.5*2*pi*f;
    r=(T1*T2*exp(h1*0.5*2*pi*f))/...
    sqrt(1+R1^2*R2^2*exp(-4*h1*0.5*2*pi*f)+ 2*R1*R2*...
    cos(-2*h1/(v)+fi0+fi1));

    R(i+1) = R(i)+r;
end
plot(R);
xlabel ('frekvence (Hz)');
ylabel ('R (dB)');
grid
exp(1)

```



a) pro ocel



b) pro pryž

Bohužel se mi nepodařilo sestavit grafy pro neprůzvučnost pro ocel a pryž, díky vstupnímu parametru R2 a rychlosti závislé na úhlovém kmitočtu, které jsem nebyl schopen je v dokumentaci najít ☹ .

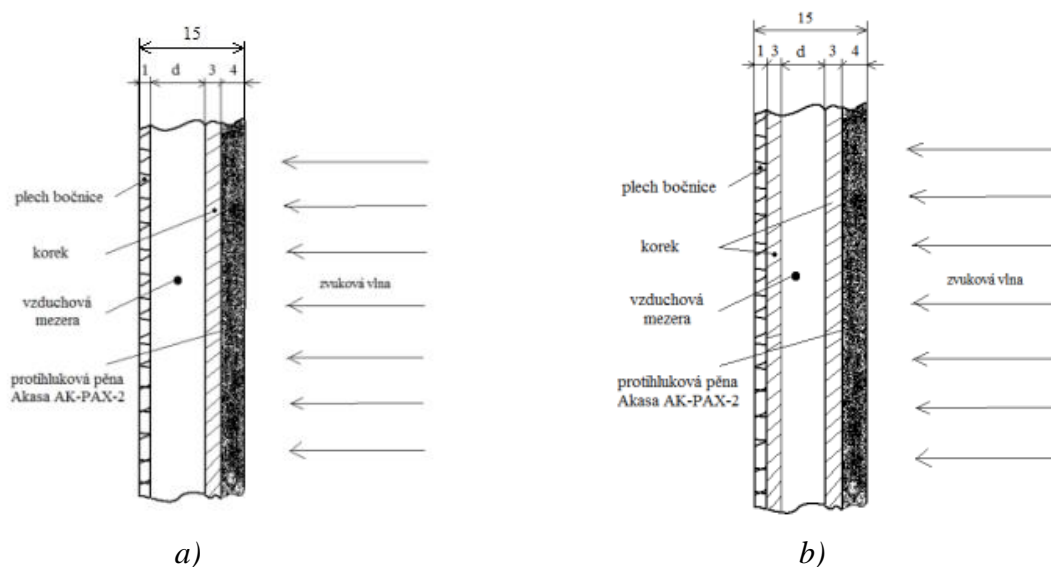
4.3 Návrh absorbčního tlumiče umístěného na vnitřních stěnách počítačové skříně

Pokud počítačová skříň není dostatečně uvnitř velká, tak se velmi těžko v omezeném prostoru dá aplikovat protihluková opatření. Většinou se to řeší oblepením vnitřních stěn počítačové skříně a výměnou aktivních chladících částí za pasivní. Problém ovšem nastává u výkonných počítačových sestav, u kterých je množství generovaného tepla velmi vysoká a je zapotřebí efektivně toto teplo odvádět většinou pomocí ventilátorů ven ze skříně. Zvuk od ventilátorů se potom šíří uvnitř skříně různými směry, odráží se od různých překážek a stěn, případně interferuje. Abych mohl aplikovat účinné opatření na snížení hluku uvnitř skříně v podobě reflexního tlumiče, bylo zapotřebí zvětšit vnitřní prostor. Toho jsem dosáhl tím, že jsem si nechal udělat nový kryt z ohýbaného plechu zvětšeného o cca 30 mm v šířce a 15 mm výšky. Kryt byl vyroben z 1 mm tlustého plechu.

Ze zvukově pohltivých materiálů jsem si vybral dva druhy materiálů, které jsou lehce dostupné v obchodech. Je jím zvukoizolační pěna od firmy Akasa (obr. 19b) a obkladový korek voskovaný o šířce 3 mm (obr. 19c). Jednoduchý model reflexního souvrství (obr. 27) se skládá z protihlukové pěny, která je přilepená na korkovou desku (absorbční tlumič) a vzduchovou mezerou o šířce d mezi stěnou a absorbčním tlumičem. Celková délka reflexního tlumiče v tomto měření činí cca 15 mm. Absorbční tlumič bude položen na rám kostry a přichycen oboustrannou lepicí páskou (obr. 24d). Potom se plechový kryt nasadí a přišroubuje ke konstrukci skříně (obr. 23a).

AK-PAX-2 je protihluková pěna se speciální strukturou určená pro počítačové skříně typu ATX. Podstatně by měla redukovat vysokofrekvenční zvuk a vibrace skříně při minimálním vlivu na teplotu. Spodní strana pěny obsahuje lepicí vrstvu, která dobře přiléhá na většinu materiálů.

Korek je materiál získaný odřezáním kůry z dubu korkového. Každá buňka obsahuje plyn podobný vzduchu, stěny buněk jsou tvořeny celulózou, suberinem a voskem. Korkové pletivo obsahuje 89,7 % plynných látek, proto je jeho hustota velice malá, řádově 0,12 až 0,20. Je pružný, lehký, nepropustný, má vynikající izolační vlastnosti a je odolný proti opotřebení. Izolační vlastnost korku je způsobena tím, že se plynný prvek nachází v miniaturních hermeticky uzavřených přepážkách. Ty jsou zase mezi sebou odděleny látkou, která není nasáková a má malou specifickou váhu [17].

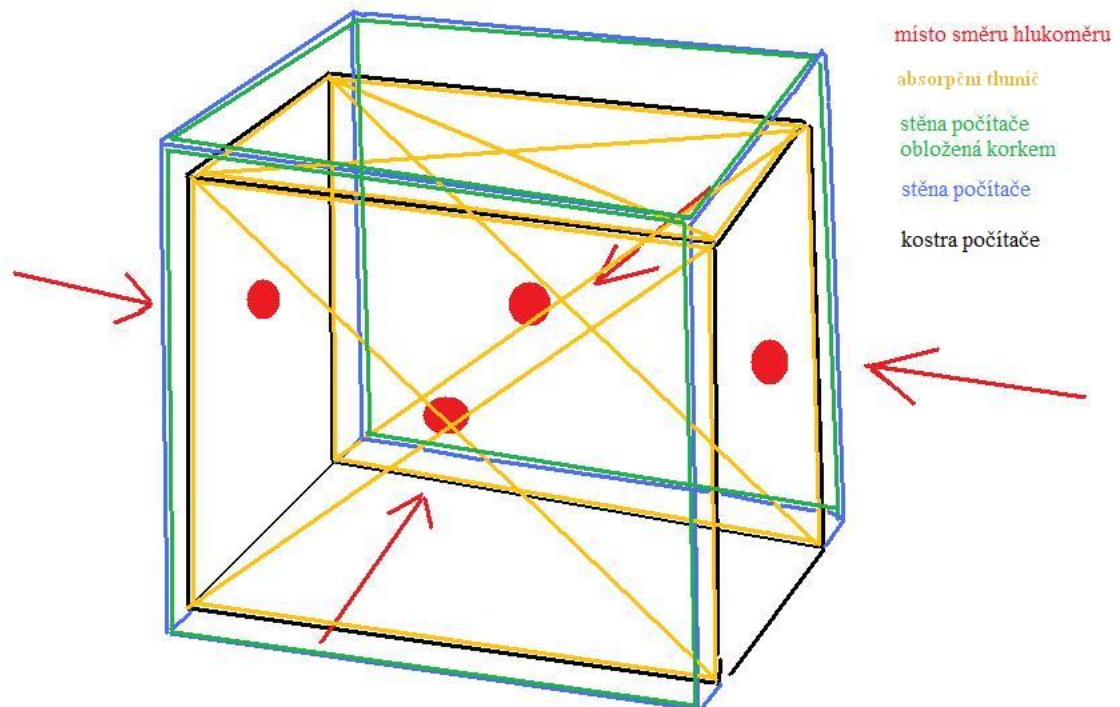


Obr. 27 Jednoduchý model reflexního souvrství

4.4 Měření pomocí hlukoměru

K měření hladiny hluku byl použit digitální hlukoměr SL-200 s třídou přesnosti 2 ($94 \text{ dB/1 kHz} \pm 1,5 \text{ dB}$) a proto je vhodný i k provádění profesionálních měření např. k měření hluku v továrnách, výrobních halách atd. Rozlišení měření hladiny hluku činí u tohoto přístroje $0,1 \text{ dB}$. Naměřené hodnoty hladiny hluku jsou zobrazovány na displeji z tekutých krystalů ve dvou měřících rozsazích detekce hluku od 30 do 130 dB s frekvencemi od 31,5 Hz do 8kHz. Přístroj je vybaven přepínání vyhodnocovacích charakteristik hladiny hluku A/C (frekvenčními vyhodnocovacími filtry), přepínatelným vyhodnocení měření podle času (rychle/pomalou), paměti pro uložení maximálních naměřených hodnot a funkci podržení zobrazení naměřené hodnoty na displeji (hold). Pro měření použijeme vyhodnocovací charakteristiku „A“, která představuje charakteristiku sluchu lidského ucha. Člověk vnímá hlubší tóny tišeji než střední a vysoké tóny [13].

Akustický signál měřený s hlukoměrem jsem snímal ze vzdálenosti 10 cm od stěny počítače a snažil jsem se tuto hodnotu dodržet, protože s různou vzdáleností se hodnota zmenšovala nebo zvětšovala v závislosti na vzdálenosti od bodu měření. Tím by se výsledky dost ovlivňovali, což nebylo cílem tohoto měření. Akustický signál byl přímo vyhodnocován hlukoměrem a zaznamenáván. Než jsem měřil hlučnost počítače, byly odstraněny rušivé elementy při měření, tj. zavřeli se všechny okna, hodiny na stěně vydávající akustický zvuk byly vypnuty, udělání dostatečně volného prostoru v místnosti. Na obr. 28 je zjednodušený model měřeného počítače. Měřil jsem přední část, zadní část a bočnice počítače. Červená šipka a bod ukazuje směr a polohu měřeného místa pomocí hlukoměru, žlutá barva reprezentuje umístění absorpčního souvrství umístěného na kostře počítače, zelená stěnu obloženou korkem.



Obr. 28 Zjednodušený model počítačové sestavy II

4.4.1 Výsledky měření

Měření probíhalo v panelákovém bytě v 5. patře. S hlukoměrem jsme měřili hladinu hluku v dB, při aplikaci frekvenčního vážení A filtrem v pásmu 31,5 Hz – 8 kHz, naměřené hodnoty jsou v tab. 4-1 pro hodnoty původní skříně se základní úpravou a tab. 4-2 pro skříně s použitím nového plechového krytí. Při testování pak byly použity dva druhy chladičů (obr. 29) na procesor CPU a to originální chladič od AMD dodávaný s procesorem a od firmy ARCTIC COOLING. Měřil jsem vždy dva hlavní stavy „Maximální zátěž“ a „Minimální zátěž“. Nejdříve se měřil hluk při maximální zátěži a po určité době jsem měřil stav s minimální zátěží procesorů. Hlukoměr mi umožnil změřit míru, jakou intenzitou je vyzařován hluk z počítače. Jelikož neměl jsem k dispozici speciální komoru s nízkou hladinou hluku, měřil jsem ze vzdálenosti 10 cm od stěn počítačové skříně.

Při maximální zátěži byl zapnutý počítač a spuštěn program BOINC Manager (BM), který zajistil vytížení procesoru CPU, tak grafické karty (GPU, grafický procesor) na maximum. Bylo nutné brát na zřetel skutečnost, že otáčky některých ventilátorů jsou regulovány podle teploty. Proto po 10 minutách zátěže se dalo předpokládat, že chladiče procesorů byly už dosti zahřáté konstantní teplotou a teplota v jednotlivých částech počítačové skříně se taky ustálila. Tím bylo zajištěno plynulé otáčení ventilátorů bez žádných výkyvů, které mohou nastat při vzrůstající teplotě uvnitř skříně počítače, a proto byly zajištěny vhodné podmínky pro měření pomocí hlukoměru.

Při minimální zátěži jsem vypnul program pro maximální vytížení procesorů CPU a GPU. Ze stejného důvodu jako u maximální zátěže jsem po 10 minutách tohoto stavu začal měřit.

Teplota vzduchu:	25	[°C]
Hluk pozadí:	33,1	[dB]
Spotřeba počítačové skříně při minimální zátěži:	135	[W]
Spotřeba počítačové skříně při maximální zátěži:	270	[W]



a)



b) [12]

Obr. 29 Chladiče CPU od a) AMD b) ARCTIC COOLING

Testovaná sestava I. (obr. 21a)

Na procesoru CPU byl použit originální chladič od AMD a měření probíhalo následujícím postupem:

- 1) **Maximální zátěž / zapnuto** spuštěn program BM, ventilátory na výtlak vzduchu ze skříně zapnuty.
- 2) **Maximální zátěž / vypnuto** spuštěn program BM, ventilátory na výtlak vzduchu ze skříně vypnuty.
- 3) **Minimální zátěž / vypnuto** vypnutý program BM, ventilátory na výtlak vzduchu ze skříně vypnuty.
- 4) **Minimální zátěž / zapnuto** vypnutý program BM, ventilátory na výtlak vzduchu ze skříně zapnuty.

Počítač s min. nebo max. zátěží výpočtu / ventilátory na zadní části case zapnuto nebo vypnuto	Hlučnost přední část v dB	Hlučnost zadní část v dB	Levá stěna dB	Pravá stěna dB	Hluk na chladiči CPU
Minimální zátěž / vypnuto	47,7	54,8	48,8	46,5	64,6
Minimální zátěž / zapnuto	46,6	53,6	47,1	46,4	54,1
Maximální zátěž / vypnuto	55	62,6	54,3	53,4	72,4
Maximální zátěž / zapnuto	53,8	61,5	53,6	52,2	66

Tab. 4-1 Naměření hodnoty s PC sestavou I

Zhodnocení měření s PC sestavou I

Hodnoty akustického tlaku naměřené hlukoměrem od stěny skříně by odpovídali skutečnosti. Největší hluk vskutku vychází skrz otvory pro ventilátory v zadní části. Na přední části skříně je umístěn 120 mm ventilátoru, který má dle výrobce deklarovanou velmi nízkou hladinu hluku a to 18 dB při maximálních otáčkách. Hluk se šíří ze zadní části skříně přes otvor pro mechaniky. Nejspíš by pomohlo zadělání otvoru pro mechaniky nějakou překážkou, která by mohla ztlumit akustický tlak z přední části skříně. Mírné zvýšení úrovně hluku nastává ať už při maximálním nebo minimálním zatížení procesorů při vypnutí zadních ventilátorů. Je to dáno tím, že je přerušen tok vzduchu uvnitř skříně, a se vzrůstající teplotou se zvyšují automaticky otáčky jednotlivých ventilátorů. V tomto případě, zde otáčení dvou ventilátorů na zvýšení hluku nemá vliv, ale naopak ho snižuje díky lepšímu proudění vzduchu uvnitř skříně. Proto v následujícím měření jsem tyto ventilátory nechal zapnuté. Hluk vytvářený od ventilátoru chladiče od procesoru CPU byl změřen způsobem; rychle otevřít bočnici skříně a změřit hodnotu hluku 5 cm od procesoru do 5 sekund. Proto tyto hodnoty jsou jenom orientační a chyba měření může být i velká.

Testovaná sestava II

a) s originálním chladičem od AMD dodávaný s procesorem

Při tomto měření jsem použil novou konstrukci krytu počítače (obr. 24a). V jednotlivých krocích jsem obkládal kostru počítače i stěny, a pro jednotlivé modifikace skříně jsem změřil s hlukoměrem hodnoty akustického tlaku. Při všech měření u testované sestavy II. jsem nevypínal žádné ventilátory, jak bylo prováděno v předešlém měření. Měření probíhalo následujícím postupem:

- 1) **základní úprava / s maximální zátěží procesoru** nový plechový kryt spuštěn program BM a po 10 minutách jsem změřil hodnoty hluku podobně jako u testované sestavy I.
- 2) **základní úprava / s min. zátěží procesoru** vypnutý program BM
- 3) **na kostře je absorpční tlumič / s max. zátěží procesoru** kostru počítače (obr. 24d) jsem obložil absorpčním tlumičem a zakryl krytem (obr.27a), spustil BM.
- 4) **na kostře je absorpční tlumič / s min. zátěží procesoru** vypnul jsem BM.
- 5) **na stěně je přilepen korek / s max. zátěží procesoru** na stěnu krytu jsem nalepil korek a zakryl krytem, spustil jsem BM.
- 6) **na stěně je přilepen korek / s min. zátěží procesoru** vypnul jsem BM.
- 7) **na stěně je korek a tlumič na kostře / s max. zátěží procesoru** kostru počítače (obr. 24e) jsem obložil absorpčním tlumičem a zakryl krytem s korkem na stěně (obr. 27b).
- 8) **na stěně je korek a tlumič na kostře / s min. zátěží procesoru** vypnul jsem BM.

Modifikace skříně / s min. nebo max. zátěží výpočtu procesoru	Hlučnost přední část v dB	Hlučnost zadní část v dB	Levá stěna dB	Pravá stěna dB
základní úprava / s min. zátěží procesoru	45,8	52,4	46,6	46,5
základní úprava / s max. zátěží procesoru	52,1	60,7	52,1	51,4
na kostře je absorpční tlumič / s min. zátěží procesoru	43,6	50,6	44,5	43,5
na kostře je absorpční tlumič / s max. zátěží procesoru	47,5	54,5	48	47,9
na stěně je přilepen korek / s min. zátěží procesoru	45	52	45,8	45,7
na stěně je přilepen korek / s max. zátěží procesoru	50,2	58,3	50,5	48,3
na stěně je korek a tlumič na kostře / s min. zátěží procesoru	43,1	50,9	42,3	43,9
na stěně je korek a tlumič na kostře / s max. zátěží procesoru	47,8	53,3	46,6	46,3

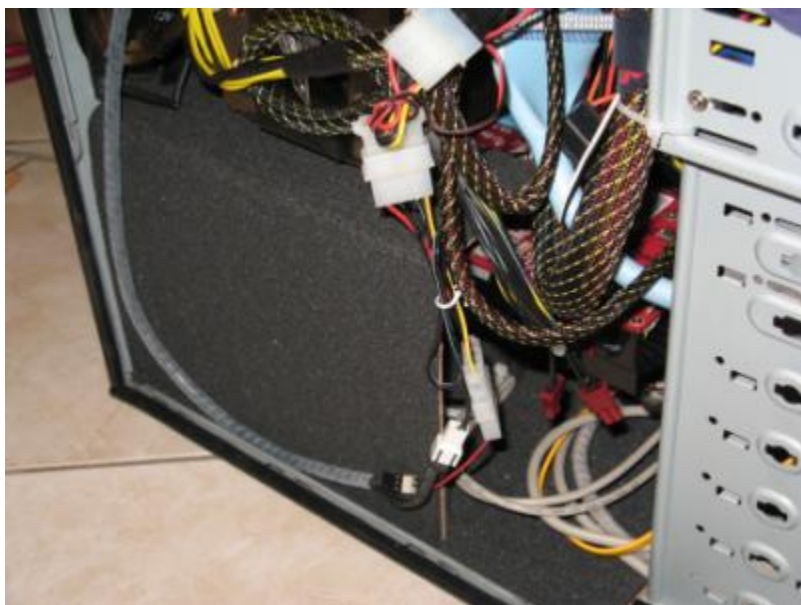
Tab. 4-2 Naměřené hodnoty se sestavou II s originálním chladičem CPU

Zhodnocení měření s PC sestavou II s originálním chladičem od AMD:

Z výsledků je patrné, že změna rozměru skříně s novým krytem o tloušťce 1 mm má malý vliv na snížení hlučnosti. Při obkládání stěn a kostry má nejlepší účinek kombinace korek na stěně a tlumič na kostře (reflexní tlumič). Při použití této kombinace je patrné z výsledků, že ve všech změřených místech je hlučnost nižší. Nejhůře na tom je obklad stěny s korkem, kde snížení hodnot hluku jsou zanedbatelné. Proto jako tlumič na stěnu není zrovna nejlepší volbou.

b) s chladičem AC Freezer Xtreme rev.1 od ARCTIC COOLING

Měření probíhalo stejným způsobem jako v předešlém měření. Použil jsem reflexní tlumič (obr. 27b) a vyměnil jsem chladič CPU od AMD za jiný typ s nižší hlučností. Ventilátory na výtlak v zadní části jsem vypnul až při posledním měření. U grafické karty jsem přidal protihlukové opatření v podobě stěny, která má zamezit šíření zvuku přímo u zdroje hluku grafické karty (obr. 30a). Ventilátory na chladiči grafické kartě jsou umístěné proti spodní části počítače, proto jsem obložil i tuto spodní část absorpčním tlumičem na zamezení odrazivosti zvuku (obr. 31). Poslední úprava spočívala zaděláním prostoru pod optickou mechanikou (obr.30b). V předposledním a posledním měření se snímaly hodnoty pomocí hlukoměru ze vzdálenosti 1 m z důvodu simulace nejčastější vzdálenosti počítače od uživatele.

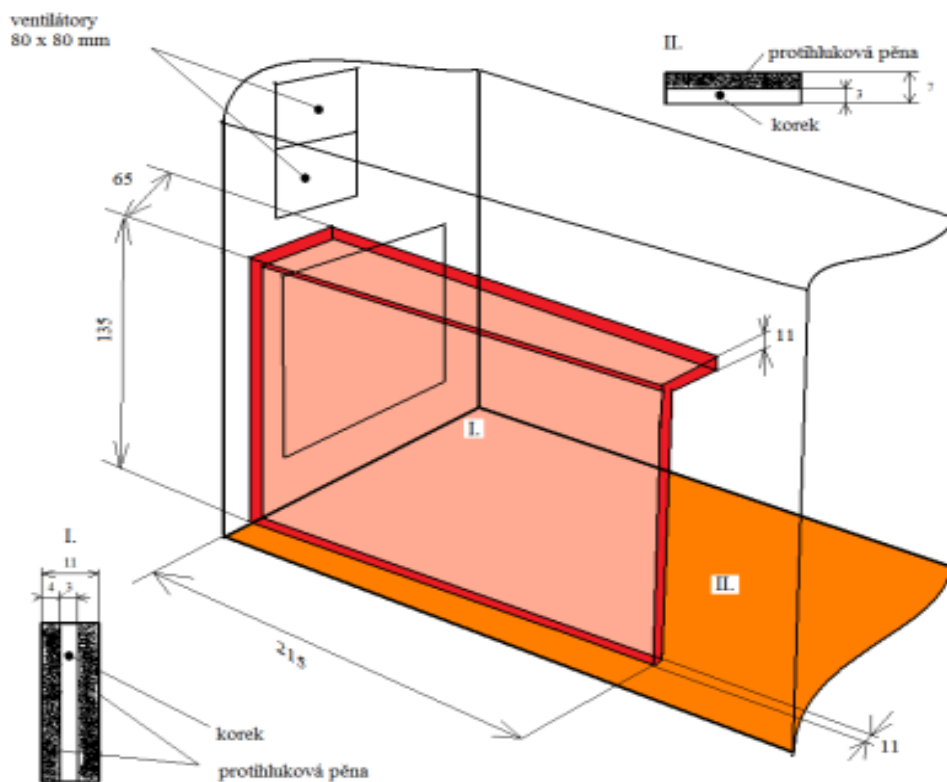


a) pro grafickou kartu



b) pod mechanikou DVD

Obr. 30 Dodatečná protihluková opatření



Obr. 31 Jednoduchý model protihlukového opatření pro grafickou kartu

Měření probíhalo následujícím postupem:

I. maximální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU, spuštěn BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 10 cm od stěn počítače.

I. minimální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU, vypnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 10 cm od stěn počítače.

II. maximální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, spuštěn BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 10 cm od stěn počítače.

II. minimální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, vypnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 10 cm od stěn počítače.

III. maximální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, zapnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 1 m od stěn počítače.

III. minimální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, vypnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 1 m od stěn počítače.

IV. maximální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, zapnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 1 m od stěn počítače, vypnutý ventilátory na výtlak v zadní části počítače.

IV. minimální zátěž - reflexní tlumič + vyměněný chladič na CPU + tlumič u grafiky a pod optickou mechanikou, vypnutý BM, měření hodnot hlukoměrem ze vzdálenosti 1 m od stěn počítače, vypnutý ventilátory na výtlak v zadní části počítače.

Stav	Hlučnost přední část v dB	Hlučnost zadní část v dB	Levá stěna dB	Pravá stěna dB
I. minimální zátěž	43,3	50,7	44	43,8
I. maximální zátěž	46,2	52,6	45,6	46,1
II. minimální zátěž	43,8	51,1	44,1	44,6
II. maximální zátěž	45,6	54,2	46,5	45,7
III. minimální zátěž	42,2	42,6	43,1	42
III. maximální zátěž	44	44,7	44,3	43,1
IV. minimální zátěž	39,5	39	40,3	38,8
IV. maximální zátěž	42,3	43,5	42	41,8

Tab. 4-2 Naměřené hodnoty se sestavou II s chladičem CPU od ARCTIC COOLING

Zhodnocení měření s PC sestavou II s chladičem od Arctic cooling

Měřilo se ze dvou vzdáleností, stavy I. a II. 10 cm od stěn počítače, III. a IV. ze vzdálenosti 1 m. Stav III a IV byl měřen z důvodu popsaného o odstavce výše. Jednotlivé výsledky se dosti liší např. u stavu II., kde bych očekával zlepšení v důsledku dodatečného opatření na snížení hluku od grafické karty, se mírně hlasitost zvýšila. Nejspíš došlo k chybě odečtu hodnot, nebo se do měření promítlo nějaký rušení mimo počítačovou skříň v určitém kmítočtu. Jak už bylo řečeno v úvodu měření pomocí hlukoměru, hodnota akustického tlaku se mění podle vzdáleností od bodu zdroje hluku. Nejčastější vzdáleností počítačové skříně od uživatele je běžně 1 m. Z měřených výsledků vyplývá, že hluk od ventilátorů chladičů už má menší vliv na hlučnost, ale že hluk se šíří skrz skříň a do okolí pomocí větráčků na výtlač vzduchu. Dokazuje to stav měření IV. v závislosti ke stavu III. při vypnutých ventilátorech v zadní části skříně, kdy hladina akustického tlaku klesla cca 3 dB při minimální zátěži a cca 2 dB při maximálním vytížení procesorů. Při vypnutí ventilátorů ovšem narůstá teplota uvnitř skříně, proto odpojení ventilátorů v tomto případě není vhodné pro dlouhodobé použití. Řešením by bylo nahrazení za tišší ventilátory při stejném nebo lepším zachování průtoku vzduchu a dosáhnout lepšího výsledku snížení hlučnosti dané počítačové sestavy.

4.4.2 Závěr měření

První měření se týkalo původní skříně, ve kterém jsem změřil pro jednotlivé místa hlučnost v decibelech. Dalším měřením jsem pomocí nového krytí a obkládáním izolačních materiálů zjistil, že nejlepší varianta na tlumení hluku je použití reflexního tlumiče a nalepeného korku na stěně. Snížení hlučnosti bylo nejvíc patrné při maximálním zatížení procesorů, kde hlučnost v zadní části skříně klesla o cca 8 dB a ze přední části o 8 dB (Tab. 4-3). Při následujícím měření byl použit tišší chladič od f. AC a přidána zvukoizolační stěna k zamezení hluku od grafické karty, tak stěna pod DVD mechanikou na zamezení šíření hluku k přední části počítače. Bohužel při měření buď došlo k chybě měření, nebo tato dodatečná opatření neměla podstatný vliv ke snížení hlučnosti počítače. V závěru měření jsem naměřil hodnoty pro vzdálenost 1 m, abych zjistil hlučnost při běžné vzdálenosti počítače od uživatele.

	Hlučnost přední část v dB	Hlučnost zadní část v dB	Levá stěna dB	Pravá stěna dB
Původní sestava s min. zátěží	46,6	53,6	47,1	46,4
Původní sestava s max. zátěží	53,8	61,5	53,6	52,2
na stěně je korek a tlumič na kostře / s min. zátěží procesoru s AMD chladičem, použito nové krytí	43,1	50,9	42,3	43,9
na stěně je korek a tlumič na kostře / s max. zátěží procesoru s AMD chladičem, použito nové krytí	47,8	53,3	46,6	46,3
na stěně je korek a tlumič na kostře / s min. zátěží procesoru s AMD chladičem, použito nové krytí	43,8	51,1	44,1	44,6
na stěně je korek a tlumič na kostře / s max. zátěží procesoru s AC chladičem , použito nové krytí	45,6	54,2	46,5	45,7

Tab. 4-3 Shrnutí výsledků měření

5. Závěr

Tato práce se zabývá možností použití reflexních tlumičů ke snížení hlučnosti PC. V kapitole 3 jsem nejdříve popsal možnosti a typy chlazení. Chlazení se dá obecně rozdělit na dvě skupiny, pasivní a aktivní. Rozdíl je v účinnosti, ale i v hlučnosti. U aktivního chlazení se předpokládá použití pohyblivých součástí, které mají za následek vibrace a následně, při nevhodném výběru i hluk, který může být významným činitelem při práci a může i ovlivňovat do jisté míry i psychiku člověka. Naopak při pasivním chlazení je úroveň hluku zanedbatelná. Ovšem nevýhoda tohoto chlazení bývá nejčastěji v přehřívání komponent PC a zkracování životnosti těchto součástek.

Reflexní tlumič se rozumí konkrétně v této práci, obložení počítače tenkou vrstvou korkové podložky a zvukoizolačních materiálů (nejčastěji pryž, molitan, porézní pěna atd.), umístěné před stěnu odrazivé stěny. Následným měřením byla zjištěna účinnost těchto opatření a to v podobě snížení úrovně hluku v dB. Tuto hodnotu se podařilo snížit u sestavy s novým krytem cca o 8 dB, z původních přibližně 54 dB na 46 dB při zátěži v přední části skříně a z 61 dB na 54 dB ze zadní části skříně, tedy 7 dB viz tab. 4-3.

Jako výpočtovou metodu jsem si ze dvou možných programů Maple a Matlab, zvolil jsem program Matlab. Při zadání vstupních hodnot, kterými byly materiálové charakteristiky, tloušťka použitých materiálů, rozměry jsem narazil na problém s reflexním koeficientem těchto materiálů. Bohužel ani distributor, ani za pomocí internetu jsem nemohl tuto hodnotu pro použité absorpční materiály získat. Hodnoty, které jsou běžně dostupné pro tyto materiály, jsou uváděny pro jiné tloušťky a pro jiné účely, než právě pro obložení stěn PC.

Jako možnost použití reflexního tlumiče z korkového obložení a absorpčního materiálu z měkké pryže se jedná o nevhodný výběr. Důvodem je nepřímo úměrná hodnota v dB vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům, které činily přibližně 2500,-.

Použitá literatura

- [1] PFISTER Anne-Marie. World Health Organization. *Guidelines for Community Noise – Executive summary* [online]. 2000, [citováno 20.5.2009].
Dostupné z : <http://www.who.int/docstore/peh/noise/ComnoiseExec.htm>
- [2] BERNAT Petr. *Akustika, vznik a šíření zvuku* [online]. [cit. 2009-05-20].
Dostupné z : http://home.vsb.cz/petr.bernat/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [3] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. 2.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3
- [4] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika : Mechanika – Termodinamika.část 2*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 2003. 573 s. ISBN 80-214-1868-0
- [5] VAŇKOVÁ, Marie a kolektiv. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí část I*. 1.vyd. Brno: PC-DIR, spol. s.r.o., 1995. 140 s. ISBN 80-214-0818-9
- [6] VAŇKOVÁ, Marie a kolektiv. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí část II*. 1.vyd. Brno: PC-DIR, spol. s.r.o., 1996. 161 s. ISBN 80-214-0818-9
- [7] ŠTĚPÁNEK, Jan. *Odhlučnění od A do Z* [online]. 1/2009 [cit. 2009-05-25].
Dostupné z : http://pctuning.tyden.cz/odhlucneni_od_a_do_z
- [8] NOVÝ, Richard. *Ventilátory*. 2.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 101 s. ISBN 80-01-02385-0
- [9] BRABEC, Stanislav. *Počítač běžící, větrající, spící*. [online]. 2002-05-27 [cit. 2009-05-24].
Dostupné z : <<http://www.root.cz/serialy/pocitac-bezici-vetrajici-spici/>>
- [10] PELLANT, K. *Paprskové metody v akustice*. [Habilitationní práce]. 1.vyd. Brno: FME VUT, 2001. 24 s. ISBN 80-214-1939-3
- [11] MIŠUN, V. *Vibrace a hluk*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005. 177 s. ISBN 80-214-3060-5
- [12] *Katalog Alfa computer*. [databáze online]. Ostrava: ALFA COMPUTER CZ s.r.o., 2009.
Dostupné z : <http://www.alfacomp.cz/php/index.php>
- [13] *Uživatelský manuál SL-200*. CONRAD, 2009
- [14] PROVAZNÍK, K. *Vibrace* [online]. 1998 [cit. 2009-05-24]
Dostupné z : http://www.zdravcentra.cz/cps/rde/xchg/zcsk/xsl/3141_3188.html
- [15] WIKIPEDIA. *Tepelná vodivost*. [online]. 2009 [cit. 2009-05-25]
Dostupné z : http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelná_vodivost
- [16] *Pryžové profily*. [online]. Strážnice: GUMEX, spol.s r.o., 2009
Dostupné z : http://www.gumex.cz/cz/pryzove_profily/PRYZOVE-PROFILY/8/7

[17] *Jedinečné vlastnosti korku*. [online]. Rychnov u Jablonce nad Nisou: Korek Jelínek, spol. s.r.o. 2007-11-27 [cit. 2009-05-26]
Dostupné z: <http://www.korek-jelinek.cz/cz/clanky/jedinecne-vlastnosti-korku>

[18] BRABEC, Stanislav. *Počítač běžící, větrající, spící* [online]. 2002-05-27.
Dostupné z: <http://www.root.cz/serialy/pocitac-bezici-vetrajici-spici/>

[19] KOTLÍK, V. *Heatpipe: princip a konstrukce* [online]. 2007-02-01. Dostupné z:
http://www.svethardware.cz/art_doc-65D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html