

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

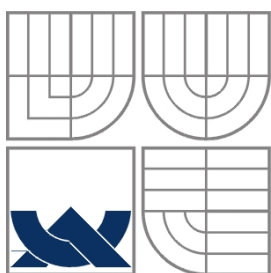
MODELOVÁNÍ ŠÍŘENÍ HLUKU UVNITŘ POČÍTAČE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ČENĚK NEŠETŘIL

BRNO 2008



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

MODELOVÁNÍ ŠÍŘENÍ HLUKU UVNTR POČÍTAČE

TITLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ČENEK NEŠETŘIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. RNDR. KAREL PELLANT, CSC.

BRNO 2007

Místo této stránky vložit zadání práce

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá modelováním šířením hluku uvnitř osobních počítačů a možnostmi jeho snižování. Jako modelovací metoda byla použita metoda konečných prvků (systém Ansys). Je provedena diskuse vlivu polohy zdroje hluku uvnitř počítače na vyzařovaný hluk a simulace účinnosti případných protihlukových opatření ve formě absorpčních vrstev aplikovaných na vnitřní stěny počítače.

Abstract

Submitting bachelor thesis is dealing with modeling of noise spread inside the personal computer and possibilities of its decrease. As modeling method was used method of finite elements (system of Ansys). The discussion of influence at position of noise source is made inside the personal computer on a spread noise and simulation of efficiency of appropriate anti-noise precaution in the form of absorbing layers applied on inside walls of personal computer.

Bibliografické citace

- [1] BERNAT, Petr. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu* [online]. 2007 [cit 2008-03-01]. Dostupné z: http://home.vsb.cz/petr.bernat/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [2] DVOŘÁK, Josef. *Hluk ve vzduchotechnice (I) - Základní pojmy a praktické vztahy* [online]. 2001-08-10 [cit 2008-03-01]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=626&h=246>
- [3] PAVOL, Adam. *Úvod do metod spracovania zvuku v súčasnom multimediálnom prostredí* [online]. 2006 [cit 2008-03-01]. Dostupné z: http://zvuk.atrip.sk/index.php?site=2_2
- [4] KOTLÍK, Václav. *Heatpipe: princip a konstrukce* [online]. 2007-02-01 [cit 2008-03-01]. Dostupné z: http://www.svethardware.cz/art_doc-65D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html
- [5] *Katalog Alza* [databáze online]. Praha: Alzasoft a.s., 2008 [cit 2008-03-01]. Dostupné z: <http://www.alza.cz/>
- [6] JELÍNEK, J. *Možnosti odhlučnění počítače*. Brno, 2006. 43 s. Bakalářská práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí bakalářská práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
- [7] VAŇKOVÁ, Marie a kol. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí část I*. 1.vyd. Brno: PC-DIR, spol. s.r.o., 1996. 161 s. ISBN 80-214-0818-9
- [8] VAŇKOVÁ, Marie a kol. *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
- [9] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM[®]. s.r.o., 2005. 177 s. ISBN 80-214-3060-5

Čestné prohlášení

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

V Brně dne 20.5.2008

Čeněk Nešetřil

Poděkování

doc. RNDr. Karlu Pellantovi, CSc. za pomoc a konzultaci s touto prací
Ing. Danielu Duškovi, Ph.D. za pomoc při práci s programem Ansys

Obsah

Obsah	7
1. Charakteristika problému a cíle řešení.....	9
2. Teoretická rešerše.....	10
2.1 Zvuk a jeho vlastnosti	10
2.2 Sluchový vjem zvuku	12
2.3 Zdroje hluku v počítači	14
2.3.1 Mechanický hluk.....	14
2.3.2 Aerodynamický hluk.....	14
3. Možnosti snížení hluku počítačů	15
3.1 Snížení hluku pomocí vhodného chladicího systému	15
3.1.1 Chlazení vzduchem.....	16
3.1.1.1 Aktivní chlazení	16
3.1.1.2 Pasivní chlazení.....	17
3.1.1.3 Moderní aktivně-pasivní chladič.....	18
3.1.2 Chlazení vodou	19
3.1.3 Jiné metody chlazení.....	19
3.1.3.1 Peltierův článek.....	19
3.1.3.2 Mrazící zařízení.....	20
3.2 Snížení hluku pomocí úpravy stávajícího chladicího systému	21
3.2.1 Obkládání stěn zvukově pohltivým materiálem	21
3.2.2 Wind tunely.....	22
3.2.3 Zpomalování otáček větráků.....	22
3.3 Snížení hluku pomocí eliminace příčin vzniku hluku.....	23
3.3.1 Eliminace aerodynamického hluk.....	24
3.3.1.1 Eliminace sirénovitého hluku.....	24
3.3.1.2 Eliminace hluku vzniklého v důsledku turbulencí.....	25
3.3.2 Eliminace hluku od vibrací	25
4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech.....	27
4.1 Testovaná sestava	27
4.2 Zjednodušený model počítače.....	28
4.3 Šíření hluku uvnitř počítače	29
4.3.1 Šíření hluku bez použití zvukově pohltivého materiálu	29
4.3.2 Šíření hluku v případě použití zvukově pohltivého materiálu.....	31

4.4	Zjištění vlastních frekvencí	33
5.	Závěr	35
	Použité zdroje	36
	Seznam použitých zkratek, symbolů a jednotek	38

1. Charakteristika problému a cíle řešení

S rozvojem počítačů a počítačových technologií narůstají požadavky na stále vyšší výkony počítačů. S rostoucím elektronickým výkonem však zákonitě roste i množství generovaného tepla. Přitom přehřátím (i krátkodobým a navíc klidně jen lokálním - např. někde uprostřed čipu) může dojít k selhání funkčnosti elektronických obvodů (většinou ke spontánnímu otevření některého tranzistoru), při větší teplotě může dojít i k průrazu a nevratnému zničení polovodiče. K chodu počítače je tedy nutná podmínka kvalitní a účinného chlazení těch elektronických prvků, které při vysokých teplotách (nad 100 až 120°C) ztrácejí své původní (tedy "polovodičové") vlastnosti. S narůstajícím výkonem počítačů je tedy nutné zvýšit i chlazení komponent citlivých na přehřátí (CPU, GPU, paměti RAM, atd.).

Chlazení je přitom zpravidla realizováno pomocí ventilátorů, které pak jsou zdroji aerodynamického hluku vyzařovaného počítačem do okolního prostoru. Průzkumy bylo zjištěno, že dlouhodobým působením hluku se snižuje koncentrace a vzrůstá stres a únava. Světová zdravotní organizace proto stanovila cíl, podle kterého by hluk vyzařovaný osobními počítači do okolí neměl překročit hranici 35dB. Toto kritérium bývá v současné době často překročeno. Problematika řešení hluku počítačů je tedy stále aktuální.

Cílem této práce je početní simulace šíření hluku uvnitř a vně počítače. Je sledován vliv polohování zdroje hluku na hladinu vyzařovaného hluku a účinnost případných protihlukových opatření ve formě obložení vnitřních stěn počítače absorpčními vrstvami. Jako výpočetní metoda je použita metoda konečných prvků v rámci systému Ansys.

2. Teoretická rešerše

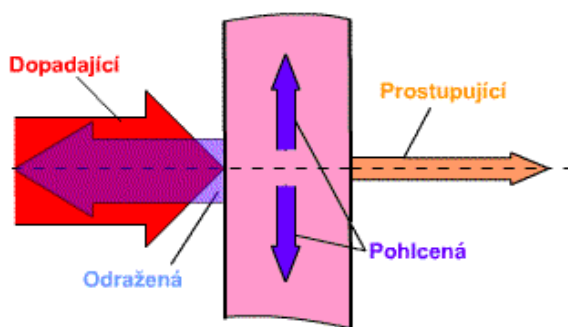
2.1 Zvuk a jeho vlastnosti

Zvuk je mechanické kmitání částic prostředí, které se šíří od zdrojů ve formě vlnoploch. Hluk hlavně vzniká kmitáním povrchů konstrukcí (mechanický hluk) a v důsledku nestacionárního proudění vzduchu (aerodynamický hluk)-viz [8]. Hluk se od zdrojů šíří prostředím, kterým je nejčastěji vzduch, ovšem může to být i voda, pevné látky atd. Mechanické kmitání je charakterizováno pohybem částic pružného prostředí (akustická výchylka popř. akustická rychlost) nebo parametry zvukového pole (hladina akustického tlaku, intenzita hluku apod.). Akustický tlak je definován jako rozdíl mezi okamžitou velikostí celkového tlaku v daném bodě zvukového pole a statickou hodnotou tlaku atmosférického, jeho jednotkou je Pascal [Pa]. Jedná se tedy o střídavou složku tlaku, která je superponována k atmosférickému tlaku díky přítomnosti zvuku. V každém bodě se tedy hodnota celkového tlaku mění s časem a to od atmosférického tlaku o hodnotu tlaku akustického nahoru či dolů. Z hlediska fyziologické akustiky je základní veličinou charakterizující zvuk hladina akustického tlaku. Hladina akustického tlaku je určena logaritmem podílu amplitudy zjištěného akustického tlaku a hodnoty tlaku referenčního, jednotkou je decibel [dB].

Lidské ucho je schopné vnímat zvuky v rozsahu 16Hz až 20kHz. Má-li zvuk nižší než 16Hz nazývá se infrazvuk. Pokud je frekvence vyšší než 20kHz nazýváme zvuk ultrazvukem. Obě tyto kategorie není lidské ucho schopné vnímat, ale i tak může mít tento zvuk vliv na lidskou psychiku. Projevuje-li se zvuk rušivě tj. je-li nežádoucí nebo nepříjemný, označujeme jej jako hluk. Hlukem může být například i čistý tón, častěji však jde o směsici zvuků o různých kmitočtech.[7]

V homogenním prostředí se akustické vlnění přenáší rovnoměrně od zdroje na všechny strany. Vlnoplochy nazýváme spojitě plochy, na které se akustické vlnění dostalo od zdroje ve stejný okamžik. Vlnoplocha je tedy plocha, ve které kmitají všechny částice se stejnou fází. Obecně mohou mít vlnoplochy libovolný tvar. Vlnoplochy lze považovat za kulové pro blízké vzdálenosti od zdrojů, jejichž velikost je menší než je vlnová délka šířícího se vlnění. Pro velké vzdálenosti od zdroje můžeme ve volném prostoru považovat vlnoplochy za rovinné.

Šíření vlnoploch ve volném prostoru lze popsat pomocí fyzikálních zákonů. Pokud vlnění dopadá na akustické rozhraní, dochází k odrazu a průchodu šířícího se vlnění. Odraz vlnění od stěn je závislý na materiálových vlastnostech stěny a na její tloušťce.



Obr. 1 Dopad vlnění na stěnu

2. Teoretická rešerše

Dopadá-li vlnění na pevnou stěnu, 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.

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 zvuková vlna dorazí se zpožděním, daným rychlostí šíření 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 cesta delší a do místa poslechu dorazí se zpožděním jak její čelo, tak i tyl. 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. [1]. Jedná-li se o dopad vlny šířící se ve vzduchu na akusticky tvrdý materiál, je poměr mezi amplitudou dopadající a odražené vlny skoro 1:1, pokud je materiál akusticky pohltivý, je poměr 1:0 (vlnění je pohlceno). Pohltivá schopnost překážky je závislá na jeho materiálových charakteristikách, tloušťce stěny a na kmitočtu dopadajícího vlnění. Neodražená část prostupuje překážkou, je částečně rozptýlena a zbytek prostupuje dál.

Vyskytují-li se v prostoru dvě či více vln současně, dochází v každém bodě k jejich vzájemné interferenci - sčítání. Posluchač tak není schopen rozlišit každou z vln samostatně, vnímá jen jejich součet. Podle toho jak se vlnění odráží v uzavřeném prostoru, mění se lokálně i hodnoty hladiny akustického tlaku. V uzavřeném prostoru může být místo 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.

Dalším jevem, který ovlivňuje šíření zvukových vln v prostoru je ohyb. Díky ohybu se zvuk dostane i za překážku. Vyskytují-li se v poslechovém prostoru objekty, jejichž rozměry jsou srovnatelné s délkou zvukové vlny, zvuková vlna se kolem nich ohne. Vlastnosti ohybu jsou tedy opět frekvenčně závislé[1].

2. Teoretická řešení

(μPa)	(dB)	
	140	
10^8		Hluk v blízkosti letadla
	120	
10^7		Práce s pneumatickým kladivem
	100	
10^6		Jízda autem
	80	
10^5		Kancelář
	60	
10^4		Tichý byt
	40	
10^3		Tichý les
	20	
10^2		
	10	
20		Práh slyšení
	0	

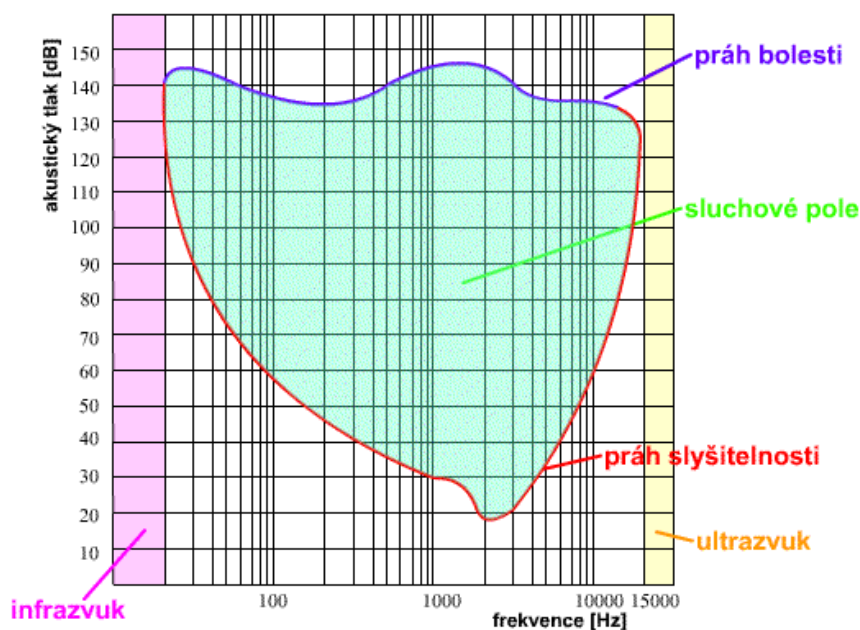
Tab. 1 Hodnoty akustického tlaku a hladiny akustického tlaku [2]

2.2 Sluchový vjem zvuku

Z hlediska akustiky je důležitý i koncový prvek celého akustického řetězce zdroj - prostor -posluchač. Výše popisovaný kmitavý pohyb zdroje dorazí až do sluchového orgánu, kde z roviny objektivní fyzikální reality přejde do oblasti subjektivního vnímání. Zvukové signály jsou ve vnitřním uchu převedeny na elektrochemické děje, které jsou složitým způsobem zpracovány v mozku. Jejich analýza, srovnání s dosavadními zkušenostmi a vybavení ve vědomí a podvědomí už probíhají u každého jedince individuálně, konečný účinek zvukového signálu tak není přesně popsitelný, lze definovat jen obecné a obecně platné závislosti.

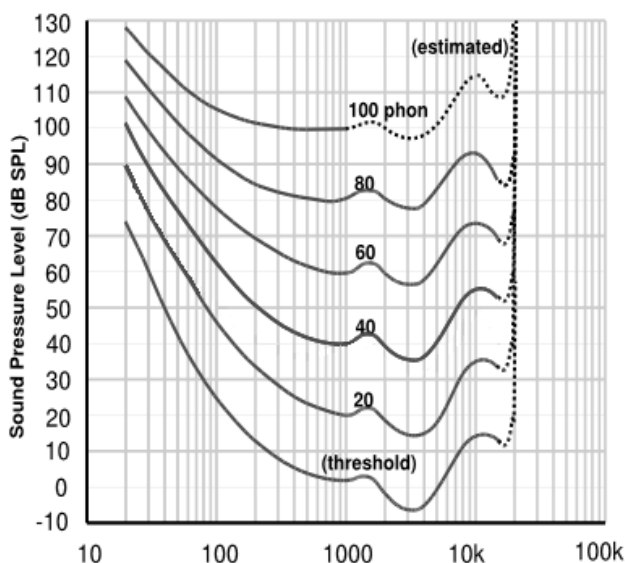
Vjem zvukového signálu je souhrnem subjektivních veličin, které jsou přímým obrazem objektivních fyzikálních veličin a časového průběhu zvukového signálu. Sluchový vjem je závislý na frekvenci a intenzitě zvuku, výsledný vjem je rovněž značně ovlivněn tím, zda posloucháme zvuk s jednou frekvencí nebo jejich více či méně složitou směs. Zvuky, které u posluchače vyvolají sluchový vjem mezi prahem slyšení a prahem bolestivosti lze zařadit do tzv. sluchového pole (obr. 2). Tvar sluchového pole je opět individuální pro každého člověka. Zdola je vymezeno křivkou, popisující práh slyšitelnosti, shora pak křivkou prahu bolesti. Maximální citlivost sluchu spadá do oblasti mezi 500 až 4000 Hz, pro nižší a vyšší frekvence prudce klesá.[1]

2. Teoretická rešerše



Obr. 2 Sluchové pole člověka

Jak je ukázáno v práci Fletchera a Munsona, každý člověk při totožném akustickém tlaku vnímá různé frekvence jinak. IEC (International Electrotechnical Commission) proto zavedla tzv. A-vážení, které změřenou hladinu akustického tlaku upravuje v závislosti na frekvenci zdroje. Toto vážení se opírá o výsledky sestavené Fletcherem a Munsonem z Bell Laboratories v r. 1933, kteří izofonami vyjádřili subjektivně vnímané stejné úrovně hlasitosti (obr.) v závislosti od frekvence a hladiny akustického tlaku pro referenční kmitočet 1 kHz. Zatímco pro 1 kHz je prahem slyšitelnosti hladina akustického tlaku 0 dB, pro 20 Hz je to více jak 3000 krát vyšší hodnota tj. 70 dB. Nejnížší křivka tedy vyjadřuje absolutní práh slyšitelnosti, jeho hodnota je závislá na frekvenci. Horní křivka vymezující akustické pole je práh bolesti. Křivky stejné hlasitosti se udávaly v jednotkách fón (ph), v současné době se o této jednotce hovoří jako o A-vážené hlasitosti[3].



Obr. 3 Křivky subjektivně vnímané hlasitosti v závislosti na frekvenci zdroje[3]

2.3 Zdroje hluku v počítači

Zdroj hluku představuje ta část systému, ve které je generována zvuková energie. Může to být i několik zdrojů zároveň. Za zdroje hluku v počítači můžeme považovat jakékoliv rotující součásti (větráky, disky, CD-ROMy apod.). U aerodynamických zdrojů hluku obecně platí, že generovaný hluk závisí na velikosti pracovních otáček. Má-li být počítačová sestava tichá, musí být malého akustického výkonu dosaženo již při samotném návrhu sestavy[8] .

2.3.1 Mechanický hluk

V tomto případě se vlivem působení budících sil rozkmitávají pevnofázové struktury. Mechanické kmity se pak z místa působení sil přenášejí konstrukcí na rozměrnější povrchové plochy a ty je jednak vyzařují v podobě akustické energie do okolí sestavy a případně přenášejí do základny (bočnice skříně, podlahy, stoly apod.). Na přenosu a vyzařování zvukových vln se tedy nepodílejí jen ty součásti, jež jsou funkčně v poli působících sil, ale i ty díly, jež jsou k těmto součástem pevně připojeny. Primární příčinou u těchto zdrojů zvuku může být: [8]

- nevyváženost rotujících částí
- náhlé změny rychlosti rotujících částí
- vůle částí
- tření nerovností povrchů po sobě

2.3.2 Aerodynamický hluk

Ke chlazení součástí vytvářející tepelnou energii se standardně užívá vzduch. Takto vzniklý aerodynamický hluk je velmi významný a většinou určuje výsledný hluk počítače. Mezi hlavní příčiny vyvolávající aerodynamický hluk patří:

- pulzující proudění prostředí vyvolané např. rotací listů ventilátoru
- turbulentní nebo pulzující výtok vzduchu z otvorů do klidného prostředí
- nestacionární a vířivé proudění vznikající při obtékání pevných těles tvořících překážky
- proudění podél pevných těles vytvářející vířivé proudění v mezní vrstvě
- pohyb pevných těles v nerovnoměrném proudícím prostředí nebo přerušování tohoto proudění (sirénový hluk ve ventilátorech, apod.)

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. [8]. Tyto možnosti jsou však omezené z toho důvodu, že povrchová nebo vnitřní absorpce je účinná na vysokých frekvencích. Hluk generovaný ventilátory je však poměrně širokopásmový, takže potlačování nízkých frekvencí pomocí zvukoizolačních resp. zvukoabsorpčních vrstev není dost dobře možné.

3. Možnosti snížení hluku počítačů

V současné době je na trhu nabízeno mnoho možností snížení hluku počítačů. Jako nejefektivnější je vybrat vhodný chladicí systém již při sestavování počítačové sestavy. Vhodnějším chladicím systémem je rozuměn systém s nižší hlučností než systém stávající. Starší počítačové sestavy je možné přestavět na tišší záměnou starých, často zbytečně hlučných součástí zajišťující chlazení prvků generujících teplo jako je např. CPU, GPU, chipset na základní desce atd. Důležitým faktorem je přitom volba polohy a tvaru těchto chladicích systémů. Jejich špatným umístěním vzrůstá riziko vzniku turbulencí, sirénovitého hluku uvnitř počítačů. V současnosti výrobci nabízejí celou škálu řešení tohoto problému, která by měla uspokojit i velmi náročné uživatele, hodlající si za tichý chod připlatit, tak i řešení pro uživatele, kteří nechtějí moc investovat. Zakoupení nové, téměř neslyšitelné, sestavy ovšem neznamená, že tento stav bude mít trvalou tendenci. Opotřebení součástek během provozu vede ke zvyšování hluku. Tento jev je nejvíce patrný u aktivních ventilátorů, kde dochází k postupnému opotřebení ložisek. Obecně platí, že čím více součástek zvládneme uchladit pouze pomocí pasivních chladičů, tím nižší bude výsledný hluk počítače.

V literatuře zatím nebyla věnována pozornost tomu, že v případě počítačů se jedná o uzavřený prostor, ve kterém vznikají módy akustického subsystému. Při stejné hodnotě hladiny zdroje hluku může hrát roli i jeho samotná poloha z toho důvodu, že ovlivňuje hodnotu výchylek akustického tlaku v místech, ve kterých je z počítače hluk vyzařován tj. v místě nasávacích popř. výfukových mřížek. Odhadu významnosti tohoto jevu je věnována i tato práce.

3.1 Snížení hluku pomocí vhodného chladicího systému

Nejdůležitějším krokem vedoucím k nížení hluku počítačů je vhodný výběr samotných komponentů. Poslední dobou je velmi patrný trend výrobců počítačů snižovat vydávaný hluk již při návrhu a sestavování. Během posledních let došlo k rapidnímu zvýšení nabídky chladicích systémů od různých výrobců. Pro koncové spotřebitele se může zdát takto široká nabídka matoucí, což má za následek, že spotřebitel vybírá převážně podle hlavních parametrů sestavy (procesor, velikost RAM, velikost disku atd.) a řešení chlazení je přenecháno na výrobcí. U takto vybraných sestav, hlavně levnějších, většinou výrobce dává méně kvalitní komponenty, vyznačující se větší hlučností, s cílem ušetřit na výdajích.

Oproti předchozím létům došlo v tomto směru k jistému zlepšení situace. Většina výrobců začala své sestavy osazovat 120 mm větrákem na zdroji místo 80 mm. Větší průměr větráku má za následek možnost snížení jeho otáček při stejném množství protékaného vzduchu a tím i snížení vydávaného hluku. Pokud je skříň vybavena přídatným větrákem, bývá většinou průměru 80 mm. Procesor a chipset základní desky jsou nejčastěji osazovány chladiči homologovanými od výrobce. Chlazení chipsetu na základní desce bývá buď aktivní pomocí větráku anebo pasivní, záleží na výrobcí, u různých základních desek je možno nalézt při totožném osazení chipsetem rozdílné varianty. U grafických karet je situace shodná se způsoby chlazení chipsetu. Pokud je možnost větší investice, je možno dosáhnout ještě nižší úrovně vyzařovaného hluku. Přídatný větrák lze nahradit za větrák o průměru 120mm, procesor je také vhodné osadit

3. Možnosti snížení hluku počítačů

větrákem vybaveným technologií regulace otáček podle teploty procesoru, pokud touto technologií větrák již není vybaven a aktivní chladič na chipsetu základní desky zaměnit za pasivní. Použití pasivního chlazení není vhodné pro všechny typy grafických karet. Toto řešení lze použít spíše pro low-endové karty s nízkým výkonem. Uvedené možnosti úpravy se pohybují v rozmezí 120 – 840 Kč, v závislosti na počtu nahrazených součástí.

	Cena [Kč]	Hlučnost [dB]
Zdroj ATX s 120mm větrákem	0	15
Přídavný větrák 80mm	0	30
Přídavný větrák 120mm	120	20
Větrák na procesor od výrobce	0	30
Větrák na procesor s regulací otáček	260	15
Větrák grafické karty	0	35
Pasivní chlazení grafické karty	356	0
Aktivní chlazení chipsetu základní desky	0	30
Pasivní chlazení chipsetu základní desky	106	0

Tab. 2 Srovnání cen a hlučnosti součástí[5]

3.1.1 Chlazení vzduchem

Chlazení vzduchem je nejrozšířenější a nejdostupnější způsob chlazení. Tato metoda se používá u většiny počítačů. Funguje na principu odvodu tepla z pasivní části, radiátoru proudem, který zajišťuje ventilátor. V minulosti se výkonu a účinnosti chlazení nevěnovala příliš velká pozornost, protože dřívější počítačové komponenty produkovaly v porovnání s dnešními pouze zanedbatelné množství tepla. Postupem času s nárůstem výkonu přestal být stávající systém vyhovující tj. malé větráky s velkým počtem otáček. Uživatelé začali hledat alternativní řešení. Ovšem některé firmy si uvědomili potřebu trhu a začal překotný vývoj nových chlazení a chladičů. Dnes není problém vyměnit například boxový chladič dodávaný s procesorem za chladič tišší a účinnější.

Tento systém můžeme rozdělit do dvou skupin. Pasivní a aktivní chlazení.

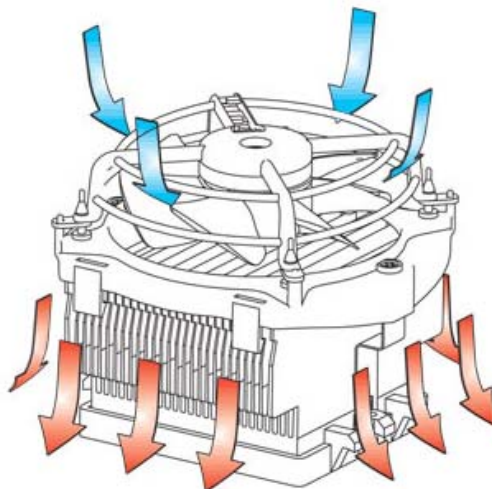
3.1.1.1 Aktivní chlazení

Lepší cirkulace vzduchu uvnitř počítače má přímý vliv na účinnost ostatních chladících systému, které jsou uvnitř skříně. Pomocí dvou přídavných větráků může být dosaženo lepšího odvodu ohřátého vzduchu a zevnitř a nasávání chladnějšího vzduchu z okolí. K těmto účelům jsou na trhu větráky v průměru od 40 do 120 mm, přičemž uživatelé preferují největší z nich. Důvod je jednoduchý, větší průměr větráku má při nižších otáčkách stejné množství dodaného vzduchu jako menší větrák s vyšším počtem otáček.

U procesorů se používá kombinace aktivního a pasivního chlazení. Rotující větrák s lopatkami vhání vzduch na pasivní část, která je v přímém kontaktu s chlazených komponentem a odvádí z něho teplo. Proudící vzduch přejímá teplo z pasivní části a rozptyluje ho do okolí.

3. Možnosti snížení hluku počítačů

Zajímavé je srovnání hlučnosti 120mm větráku oproti menším. Výrobci uvádějí vyšší hladinu hluku než tomu ve skutečnosti bývá, patrně kvůli měřením za maximálních provozních otáček, které ve skutečnosti nebývají nikdy dosaženy.

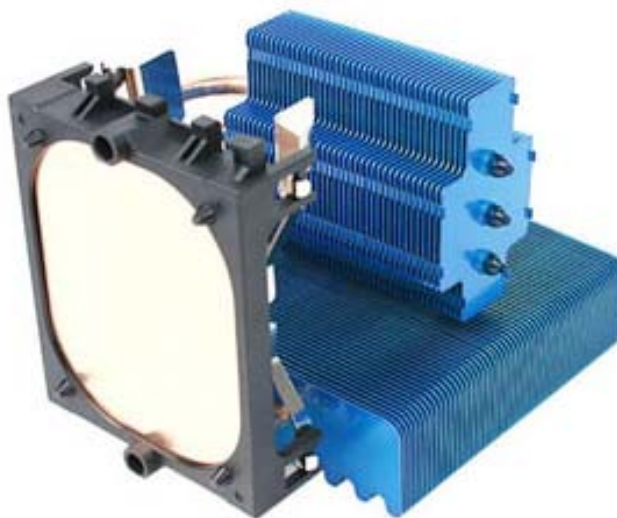


Obr. 4 Schéma činnost aktivně-pasivního chladiče

3.1.1.2 Pasivní chlazení

Postrádá aktivní část a skládá se jenom z radiátoru. Účinnost je závislá na chlazení počítače jako celku. I zde je nutné proudění vzduchu, využívá se principu přirozeného stoupání ohřátého vzduchu vzhůru anebo pomocí toku vzduchu, který vyvolají ostatní součásti PC (např. přídatné ventilátory). Druhý způsob je podstatně efektivnější. Používá se na chlazení méně teplotně namáhaných součástí. Menší účinnost chlazení vynahrazuje nulová hlučnost.

Účinnost závisí na velikosti chladicí plochy radiátoru. Bývají konstruovány jako hliníkové nebo měděné bloky různých tvarů s velkým množstvím žebrování, zlepšující odvod tepla do okolí. K uchlazení tepelně náročnějších komponentů by bylo zapotřebí velké plochy radiátoru anebo vyššího proudění vzduchu.



Obr. 5 Pasivní chladič pro procesor

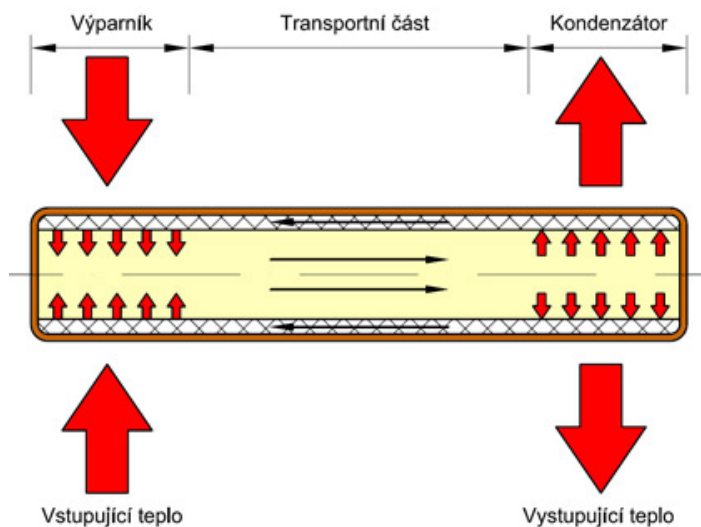
3.1.1.3 Moderní aktivně-pasivní chladič

V současnosti se tato metoda chlazení těší stále větší oblibě. Skládá se z pasivní části opatřené systémem tepelných trubiček Heatpipe a aktivního ventilátoru s velkým průměrem.



Obr. 6 Aktivně-pasivní chladič se systémem Heatpipe

Systém Heatpipe byl vynalezen 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.[4]



Obr. 7 Princip činnosti systému Heatpipe

3.1.2 Chlazení vodou

Jedná se o uzavřený systém chlazení. Nápad chlazení vodou byl přejat z průmyslu. Funguje na principu výměny tepla mezi chlazeným komponentem a chladicí kapalinou. Tato kapalina je poté sama ochlazována. Chladicí kapalina nemusí být jenom voda, ovšem je nejdostupnější a má 25 krát vyšší tepelnou kapacitu než vzduch. Další výhodou je tišší provoz než u klasických způsobů chlazení. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací cena, nebezpečí úniku chladicí kapaliny dovnitř počítače, údržba a složitější instalace.

Tento systém se skládá z několika součástí. První je vodní blok, který je v přímém kontaktu s chlazeným komponentem a pomocí cirkulace chladicí kapaliny z něj odebírá teplo. Další nedílnou součástí je vodní čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci chladicí kapaliny v systému. Pro přepravu kapaliny se používají různé druhy hadiček, které 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.



Obr. 8 Součásti vodního chlazení

3.1.3 Jiné metody chlazení

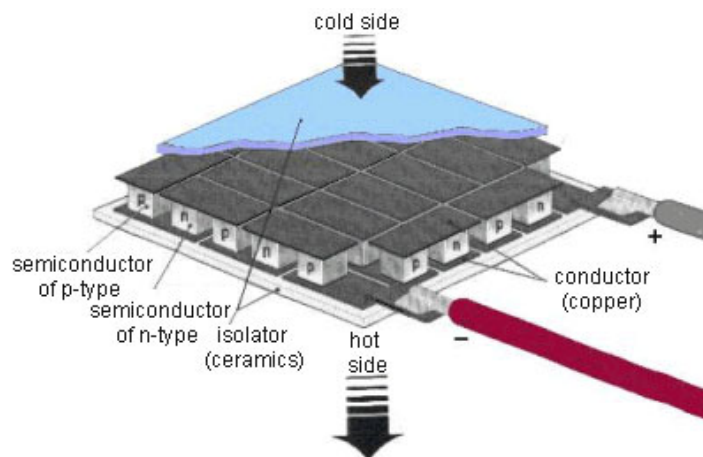
Pokud by někomu i výše uvedené způsoby chlazení nevyhovovaly, existují další, méně známé metody chlazení, se kterými se v praxi prakticky nesetkáme.

3.1.3.1 Peltierův článek

U počítačů je tento článek používán pouze v ojedinělých případech, své uplatnění nachází spíše v kosmonautice. Běžně je poměrně těžko k sehnání.

Skládá se ze dvou rozdílných vodičů, mezi kterými prochází proud. Jedna vrstva se při průchodu proudu zahřívá a druhá chladí. Chladná část je v kontaktu s chlazeným komponentem. Hlavní výhoda spočívá v bezhlučném provozu. Tento princip má ovšem velkou nevýhodu spočívající v ohřívání druhé strany článku. Vzniká tak velká energetická náročnost, která je nežádoucí.

3. Možnosti snížení hluku počítačů



Obr. 9 Princip činnosti Peltierova článku

3.1.3.2 Mrazící zařízení

Je další alternativní způsob chlazení. Funguje na stejném principu jako ledničky. Uvnitř skříně je kompresor, který mění stlačitelný plyn na horkou kapalinu, která se dále v radiátoru ochladí a putuje k chlazenému komponentu, na kterém se ve výparníku opět přemění na plyn a tím komponent ochladí.

Velkou výhodou je absolutně nejlepší chladicí výkon. Na druhou stranu je ovšem nepříznivá velmi vysoká pořizovací cena, hmotnost, hluk a energetická náročnost.



Obr. 10 Mrazící zařízení uvnitř skříně počítače

3.2 Snížení hluku pomocí úpravy stávajícího chladicího systému

Dosáhnout nižší úrovně vyzařovaného hluku počítače lze i vhodnou úpravou stávajícího chladicího systému. Těmito úpravami se rozumí obkládání stěn skříně zvukově pohltivým materiálem, tvorba wind tunelů a regulace otáček větráků, pokud již nejsou tímto systémem vybaveny od výrobce.

3.2.1 Obkládání stěn zvukově pohltivým materiálem

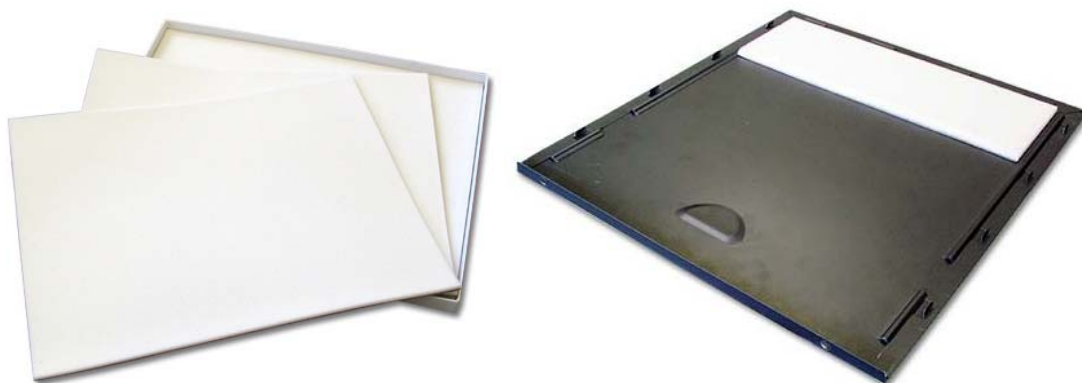
Materiály s pohlcující schopností zvuku mají široké uplatnění ve všech oborech. Pro tyto materiály je charakteristická závislost pohltivosti zvuku na frekvenci vlnění. Akustické energie se v těchto materiálech přeměňuje na energii jinou, nejčastěji tepelnou.

Mezi materiály výrazně zvuk pohlcující patří tzv. porézní materiály. Často se používají elementy s otevřenými buňkami z pěněného polyuretanu. Tento materiál obsahuje otevřené póry s typickými rozměry do 1mm, které jsou mnohem menší než délka zvukové vlny [9]. V počítačové technice je ovšem polyuretanová pěna nevyhovující a to kvůli její hořlavosti. Mezi vhodnější materiál patří speciální molitany s vylepšenou odolností proti hoření, minerální plst' a skleněná vlákna.

Při dopadu akustické vlny na vláknité materiály se molekuly vzduchu pohybují a oscilují ve štěrbinách a spárách porézního materiálu s frekvencí šířící se akustické vlny. Tyto oscilace způsobují tření vzduchových molekul a částic o vlákna materiálu a tím dochází ke zmenšení jejich kinetické energie. V důsledku nepravidelnosti pórů dochází ke změně směru šíření a ke smršťování a expanzi toku vlnění a tím dochází ke snížení hybnosti molekul vzduchu ve směru tohoto vlnění. Tyto dva jevy způsobují nejvýraznější ztráty energie kmitajících částic vzduchu na vysokých frekvencích. Tepelná vodivost materiálu pohlcovače je další příčinou ztráty energie částic při nízkých frekvencích. [9]

Obložení celé skříně je nevhodné z důvodu možnosti zamezení správné cirkulace vzduchu uvnitř skříně. Dalším faktem je, že pro účinné izolování tímto způsobem stačí pokrýt pouze bočnice skříně. Vhodným krokem pro aplikaci zvukově pohltivého materiálu je nejprve zjištění průběhu šíření hluku ve skříně a poté izolovat pouze kritická místa. Ke zjištění nám může posloužit například FEM program. Izolovat pouze rohy není účinné z důvodu maximálních hodnot akustického tlaku a tomu odpovídající malé rychlosti kmitání částic. Z hlediska omezeného množství místa se také tímto způsobem dají jen velmi těžko tlumit frekvence o nízkých kmitočtech, v tomto případě by byla vrstva materiálu příliš silná.

3. Možnosti snížení hluku počítačů



Obr. 11 a) tlumicí materiál firmy Nexus b) příklad použití materiálu na bočnici skříně

3.2.2 Wind tunely

Větrný tunel slouží k přívodu chladného vzduchu z okolí přímo k dané součásti. Namísto abychom chladili součást již přehřátým vzduchem z vnitřku skříně, přivedeme z okolí chladný vzduch. Pokud máme např. aktivní větrák vybavený regulací otáček, toto řešení nám umožní chladit stejně účinně při menším počtu otáček a tudíž i menší generovaném hluku.

Tento systém není náročný na výrobu, můžeme si ho vyrobit i doma. Jako materiál tunelu lze použít prakticky cokoliv, např. pet lahev nebo pěnovku, kterou stočíme. Výhodou je téměř nulová pořizovací cena, ovšem musíme dávat pozor při řezání dodatečných otvorů ve skříni.



Obr. 12 Přívod vzduchu k procesoru pomocí wind tunelu

3.2.3 Zpomalování otáček větráků

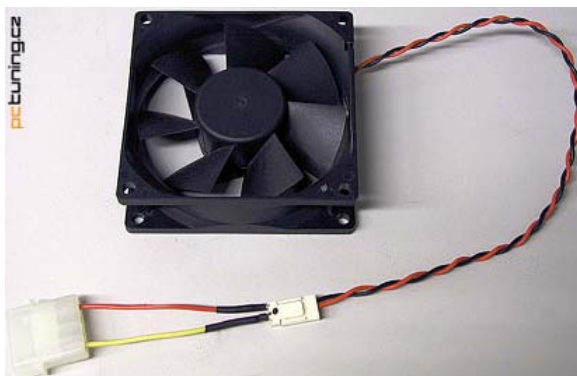
Snížení otáček lze dosáhnout několika způsoby. Větrák, který neustále pracuje s konstantními otáčkami je nevhodný, protože jeho výkon je buďto zbytečně veliký, nebo příliš malý. Ideálním řešením je možnost změny otáček v závislosti na požadovaném výkonu.

3. Možnosti snížení hluku počítačů

První způsob je softwarový. Jedná se o regulaci otáček pomocí programu. Tento způsob je závislý na kvalitě BIOSu a stabilitě systému, protože při kolapsu může dojít k nekontrolovanému přehřátí a zničení chlazené součástky. V dnešní době však desky bývají osazeny čidly hlídající teplotu, která v případě potřeby počítač vypnou.

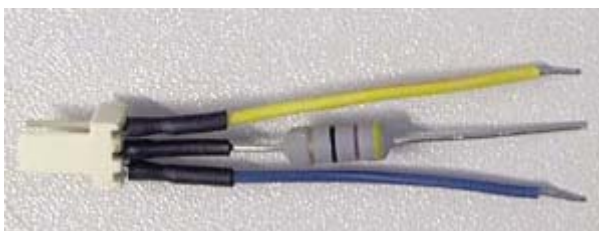
Druhý způsob je manuální regulace otáček. Regulace se provádí pomocí speciálních regulačních karet, do kterých zapojíme větráky. Regulace se provádí pomocí potenciometrů, které jsou vyvedeny do panelu pro 5,25 palcový slot. Kvalitní karty bývají opatřeny funkcí vypnutí pc v případě problému a možností jak manuální, tak i automatické regulace otáček.

Třetí způsob je úprava napájení větráků, popřípadě přiřazení odporu. Tento způsob používáme v případě, že některý z větráku má výkon výrazně vyšší než je výkon potřebný pro uchlazení součástky. U obyčejného větráku bez měření otáček lze jeho 2-pinový konektor pomocí redukce připojit na 4-pinový konektor. Využívá se poznatku, že mezi kabely +5V a +12V je rozdíl +7V.



Obr. 13 Redukce napětí z 12V na 7V pomocí redukce konektoru

Do obvodu větráku lze přiřadit i přídavný odpor. Výsledkem je jako v předchozím případě snížení napětí na větráku. Jako odpor lze použít buďto klasický odpor anebo odporové diody, které jsou díky absenci napěťovým výkyvům pro tento účel vhodnější.

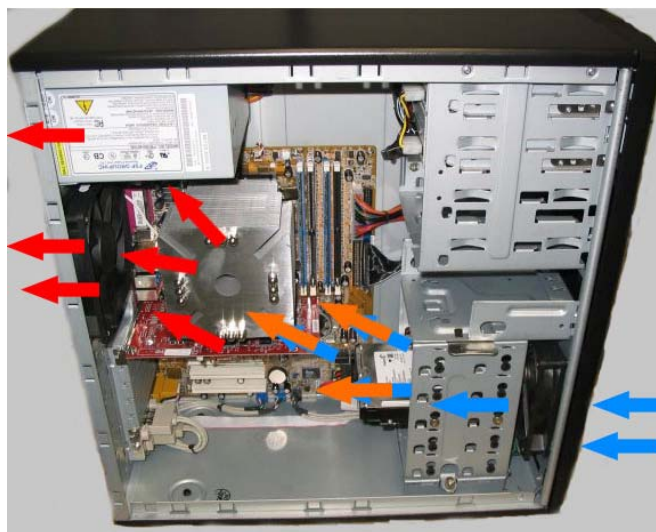


Obr. 14 Konektor s přiřazeným odporem do obvodu

3.3 Snížení hluku pomocí eliminace příčin vzniku hluku

Konstrukce skříně a vnější často chaotické uspořádání komponentů a kabelů vede k samovolnému vzniku hluku v důsledku proudění vzduchu uvnitř skříně. Pokud nám to situace dovolí, je vhodné volit nekonfliktní uspořádání komponentů a chladičů, používat místo klasických kabelů kabely kulaté. Čím více překážek vzduchu takto dokážeme odstranit, tím menší je riziko vzniku hluku. Umístění samotného počítače také hraje svoji roli. Pokud se nám podaří splnit výše uvedené předpoklady, dosáhneme optimálního a bezproblémového proudění vzduchu v počítači.

3. Možnosti snížení hluku počítačů



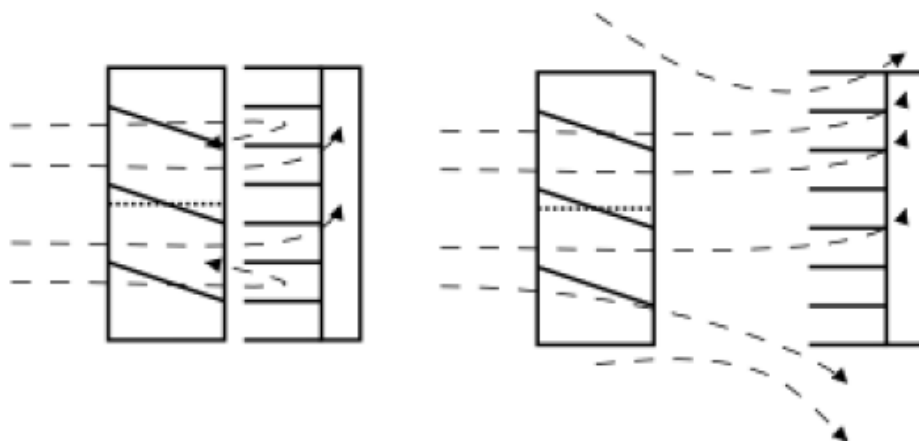
Obr. 15 Příklad vhodné cirkulace vzduchu

3.3.1 Eliminace aerodynamického hluku

Aerodynamický hluk vzniká v důsledku proudění vzduchu okolo komponentů, proudění vzduchu ze skříně do okolí a v důsledku pulzujícího proudění. Tuto eliminaci můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií.

3.3.1.1 Eliminace sirénovitého hluku

Přesekávání vzduchu lopatkami a rotace ventilátorů v blízkosti ostrých hran vyvolávají sirénový 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. Vhodným výběrem ventilátoru předejdeme většině problémů. Pokud u počítače používáme již zmíněný vzduchový tunel, je vhodně ventilátor oddálit od pasivní části chlazení posunem v tomto tunelu. Vhodným uchycením předejdeme i vibracím. [6]

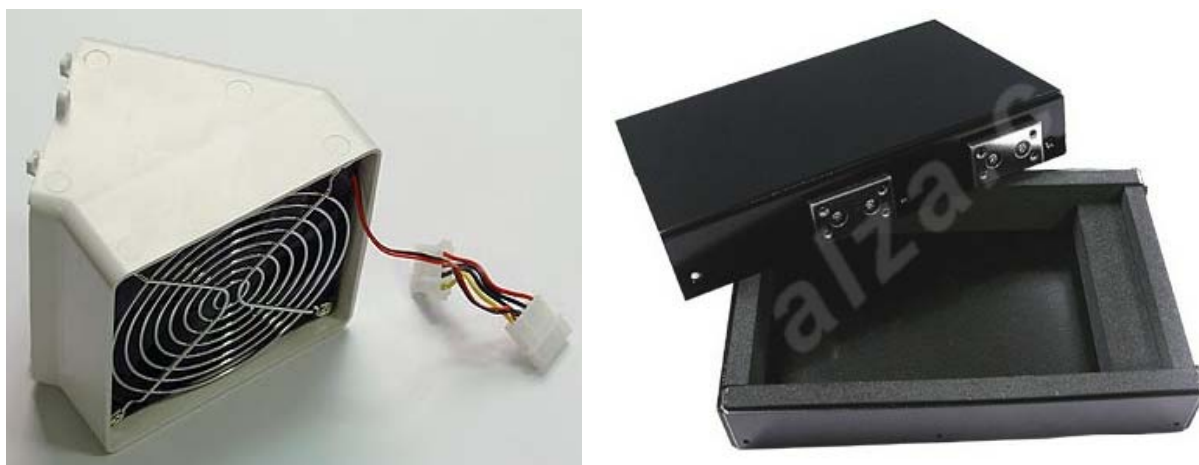


Obr.16 Proudění vzduchu u těsně a volně umístěného ventilátoru

3.3.1.2 Eliminace hluku vzniklého v důsledku turbulencí

Turbulence vznikají v důsledku překážek, mezi kterými vzduch obtéká, nebo rotujícími součástkami uvnitř skříně. Turbulencím se dá předejít pomocí přechodových tunelů, které mají pozvolnou změnu průřezu. Používají se také wind tunely, sloužící pro přívod nebo odvod vzduchu od procesoru, zdroje, apod. U některých komponentů je tato úprava vyloučena z důvodu nedostatku místa (umístění zdroje apod.). Tvorba a význam wind tunelu je vysvětlena v předchozí kapitole. Pokud je na bočnici skříně vývod vzduchu do okolí proveden pomocí kruhových otvorů, je vhodné je nahradit vývodem, který kladě menší odpor proudícímu vzduchu. Vhodným krytem je např. drátěná mřížka.

U disků je situace obdobná. Rotující části disku (plotny) vytvářejí ve svém okolí nestacionární proudění, jehož výsledkem je vznik turbulence. Tato turbulence se nedá přímo eliminovat, ale můžeme vhodným zakrytím HDD snížit její hlučnost. Hlavním zdrojem hlučnosti disků jsou však zřejmě vůle v ložiscích. Většina dnešních disků je proto vybavena fluidními ložisky, která zaručují pouze nepatrné navýšení hlučnosti provozního stavu, oproti stavu klidovému.



Obr.17 a) přechodové koleno s větrákem b) antivibrační kryt HDD

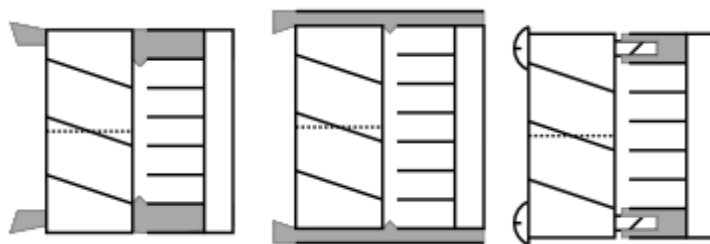
3.3.2 Eliminace hluku od vibrací

Nejdůležitější částí zamezení vzniku a šíření vibrací je kvalitní skříň. Skříň by neměla být moc měkká, aby nedocházelo k její deformaci. Dále by měla být postavena na měkké rovné podložce a neměla by se dotýkat jiných objektů. Zamezení vibrací bočních krytů je většinou řešena už výrobcí, a to použitím perforovaného plechu, tedy plechu s mnoha kruhovými otvory. Zde vzniká takzvaný „akustický zkrat“, tedy vyrovnání akustického tlaku za i před krytem [8]. Pokud bočnice perforované nejsou, lze perforaci dodatečně vytvořit. Dále je dobré provést pomocí kobercové pásky zpevnění bočnice skříně, bočnici pokryjeme úhlopříčně několika vrstvami pásky.

U aktivních větráků může vlivem opotřebení ložisek, nebo nevyváženosti rotoru, vznikat vibrace. U správně navržených a vyvážených ventilátorů by tyto vibrace vznikat

3. Možnosti snížení hluku počítačů

neměli. V praxi je tento stav ovšem ojedinělý. Vibrace se přes pevné uchycení větráků mohou přenášet do konstrukce skříně a odtud se dále rozšiřovat. Stejný problém může vznikat i u ostatní rotujících částí (disky, mechaniky apod.). U pevných disků je nejlepším řešením koupit antivibrační kryty. Pružné uchycení větráků lze realizovat pomocí pružných mezičlánků (nejčastěji pryž), 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.



Obr.18 Příklady pružného uchycení větráku k pasivnímu chladiči

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech

V této kapitole bylo simulováno šíření hluku uvnitř počítače a zjištění účinnosti protihlukových opatření, kterými byly zvukově pohltivé materiály. Dále byla provedena modální analýza, pomocí které byly zjištěny vlastní frekvence tuhé konstrukce skříně a vzduchové výplně uvnitř skříně.

Ansys je konečnoprvkový systém použitelný podle dostupné licence na celou škálu problému (pevnostní výpočty, akustické výpočty, výpočty vlastností magnetů, atd.), od jednoduchých lineárních statických úloh až po úlohy nelineární a dynamické. Současnou verzí programu v11 tvoří dvě pracovní prostředí. První je klasické prostředí známé z předchozích verzí a nově je možnost práce v prostředí Workbench, což je grafické prostředí podobající se CAD programům. Práce v klasickém prostředí je pracnější, ovšem dává nám možnost úplného přehledu a nastavení různých podmínek a parametrů řešené úlohy. Práce v prostředí Workbench je intuitivnější, pro nenáročné výpočty vhodnější, toto prostředí ovšem mnoho věcí nastavuje automaticky a nedává nám tak možnost úplného přehledu a kontroly nad řešenou úlohou. Mezi další nevýhodu prostředí Workbench lze zařadit pravděpodobnou vyšší hardwarovou náročnost.

4.1 Testovaná sestava

Sestava použitá pro tvorbu počítačového modelu byl klasický stolní midi-tower, staršího data výroby. Na Obr. 19 je možno vidět celkový pohled na sestavu. Počítač byl vybaven pouze základními komponenty, chyběla jakákoliv rozšiřující karta a disk. Z tohoto důvodu je uvnitř mnoho volného prostoru, který dovoluje šíření hluku bez většího množství lomení a odrazů.



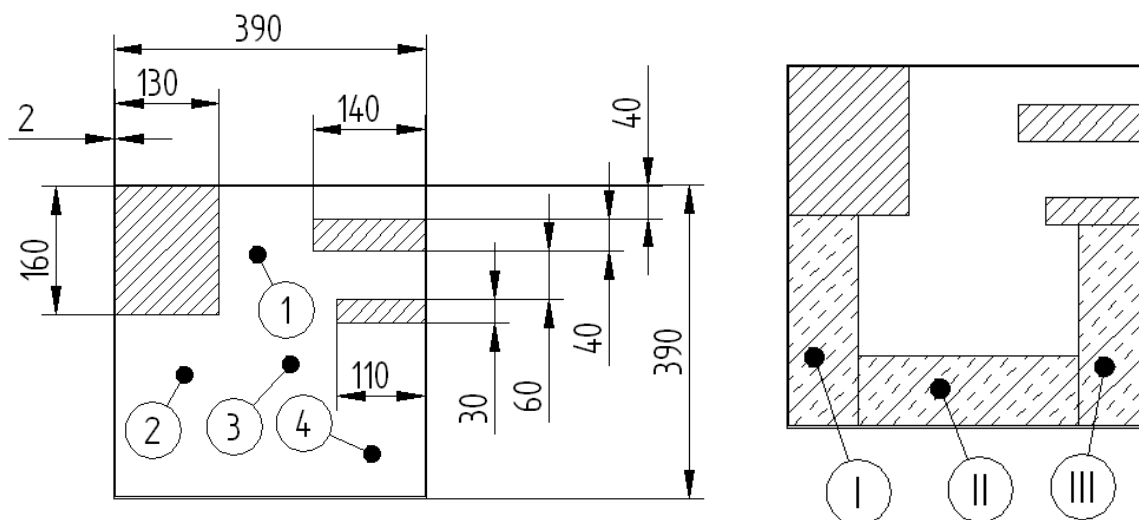
Obr.19 Testovaná sestava

4.2 Zjednodušený model počítače

Řešení bylo provedeno pomocí konečnoprvkového programu Ansys na zjednodušeném modelu počítačové skříně. Zjednodušení spočívalo v provedení pomyslného řezu skříně a nalezení řešení v 2D. Touto úpravou řešení bylo dosaženo menší hardwarové náročnosti, zmenšena byla také doba potřebná pro výpočty. Převedení do 2D má za následek zkreslení výsledků oproti běžnému stavu, ovšem pro naše testovací výpočty můžeme toto zkreslení považovat za přijatelné. Základní rozměry modelu jsou na Obr. 20a), kde vyšrafovaná část představuje řez tuhou konstrukcí skříně a komponenty ve skříně obsažené. Simulace byla provedena pro čtyři různé případy polohy zdroje hluku, každý případ byl počítán pro dvě různé frekvence. Hodnota pohltivosti materiálu byla nastavena $MU=0$ pro simulaci bez zvukově pohltivého materiálu a $MU=0,59$ (pro frekvenci 300Hz) resp. $MU=0,73$ (pro frekvenci 1kHz) pro zvukově pohltivý materiál. Jako pohltivý materiál byla zvolena 1“ vrstva skleněnovláknové pěny. Prostor, který představuje vzduch jsme „vymeshovali“ akustickým prvkem FLUID 29, kterému jsme přiřadili vlastnosti vzduchu. Na hranicích vyzařování do okolí byl použit nekonečný prvek FLUID 129, aby nedocházelo ke zpětnému odrazu vyzařovaného hluku od hranic modelu a tím ke zkreslení výsledků. Zjednodušený model nezahrnuje kabely uvnitř skříně a různé tvarové prvky a perforace. Buzení bylo na vstupu zajištěno akustickým tlakem 1Pa, který přibližně odpovídá hodnotě 94dB. Materiálové charakteristiky materiálu tlumící vrstvy a okolního prostředí jsou uvedeny v Tab..

Tlumící vrstva	
Hustota ρ [kg.m^{-3}]	1,2
Rychlost šíření hluku ve vzduchu c_0 [m.s^{-1}]	343
Pohltivost (300Hz) MU	0,59
Pohltivost (1kHz) MU	0,73
Vzduch	
Hustota ρ [kg.m^{-3}]	1,2
Rychlost šíření hluku ve vzduchu c_0 [m.s^{-1}]	343

Tab. 3 Materiálové charakteristiky



Obr. 20 a) Rozměry zjednodušeného modelu a místa zdroje hluku
b) polohy umístění zvukově pohltivého materiálu

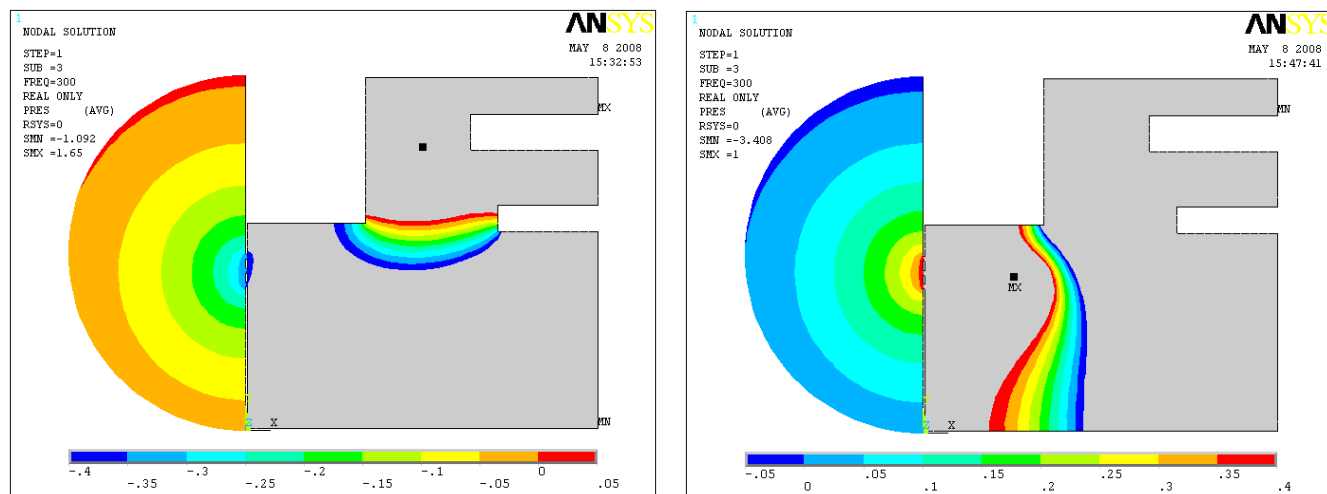
4.3 Šíření hluku uvnitř počítače

Simulace šíření hluku byla prováděna na zjednodušené sestavě, která byla popsána výše. Buzení bylo provedeno akustickým tlakem. Výpočty byly provedeny pro 2 frekvence, konkrétně pro 300Hz a 1kHz. Z praktických pokusů bylo dokázáno, že nejvíce hluku je generováno v blízkém okolí frekvence 300Hz. Na následujících obrázcích je možno vidět průběh hodnot akustického tlaku pro různé polohy zdroje hluku. Jako referenční bod pro určení nejvýhodnější polohy zdroje hluku byl určen bod na obvodu půlkruhu, který je ve vzdálenosti 390mm od místa vyzařování hluku do okolí. „Vymeshovaná“ síť byla typu free, použitý tvar prvku čtyřstěn, s délkou hrany elementu 10mm. Pro kontrolu bylo provedeno zjemnění hustoty sítě na elementy s délkou hrany 5mm, ovšem toto zjemnění nemělo výrazný vliv na vypočítané hodnoty. Černý bod na obrázcích symbolizuje polohu zdroje hluku. Ke zlepšení interpretace výsledků byla zaměřena pozornost na vykreslení průběhu tlaků v okolí vyzařování do okolí, průběh tlaků uvnitř skříně byl touto úpravou rozsahu potlačen.

4.3.1 Šíření hluku bez použití zvukově pohltivého materiálu

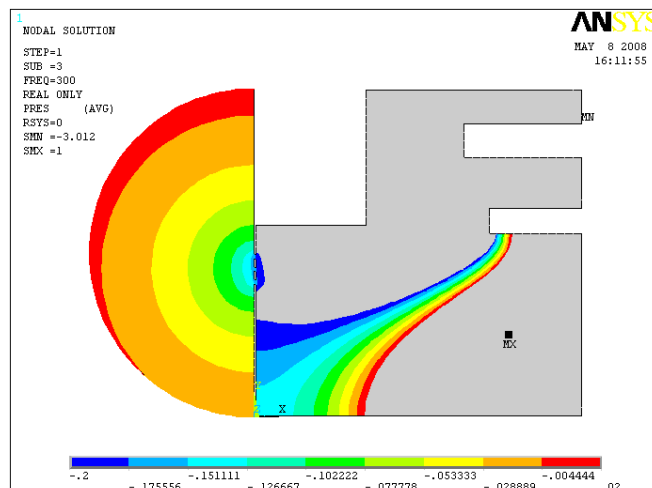
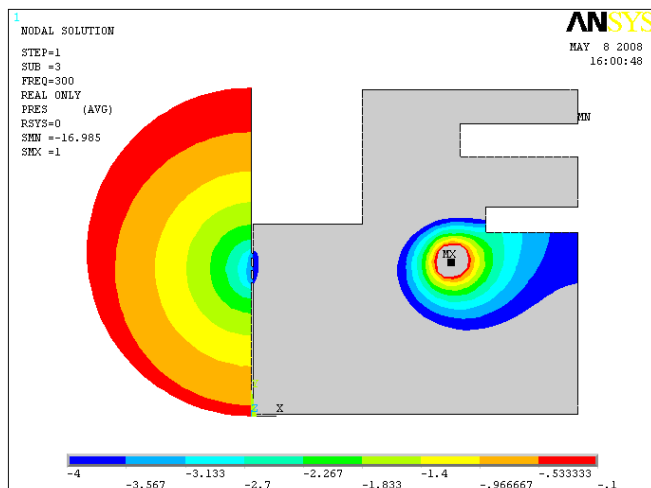
V této části bylo simulováno šíření hluku bez použití absorpčních materiálů. Získané hodnoty akustického tlaku v referenčním bodě (viz. kapitola 4.3) jsou uvedeny v Tab. 4.

300Hz



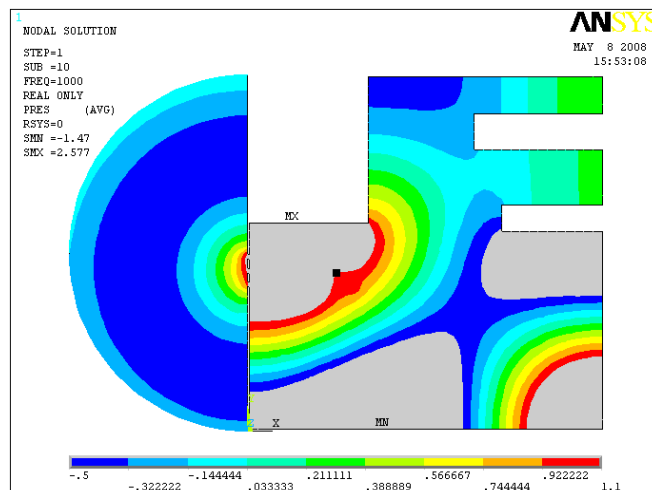
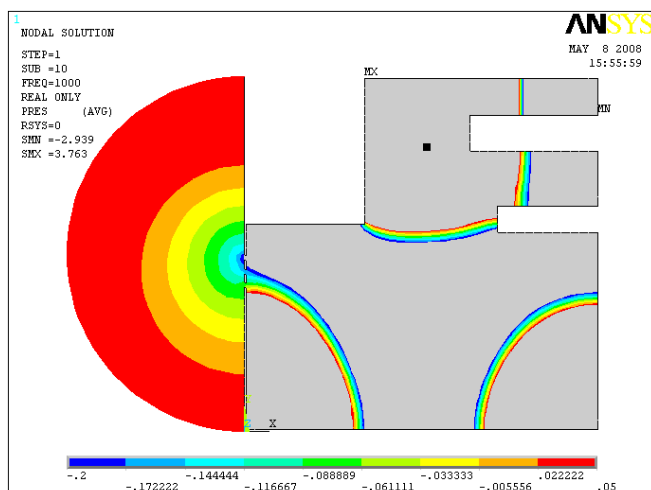
Obr. 21 Šíření hluku uvnitř a vně počítače a) pozice 1 b) pozice 2

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech

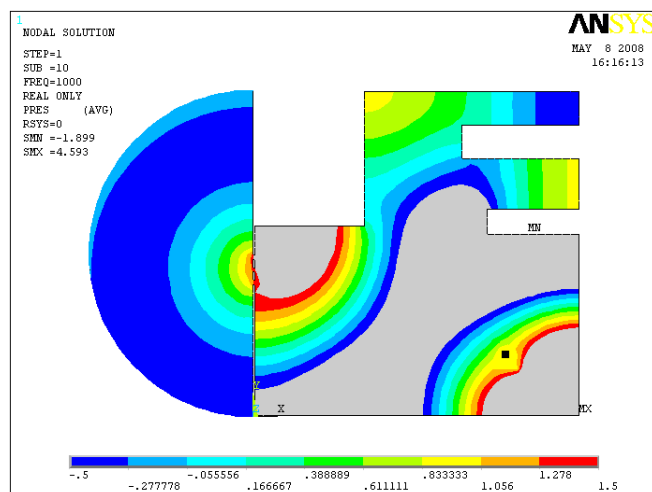
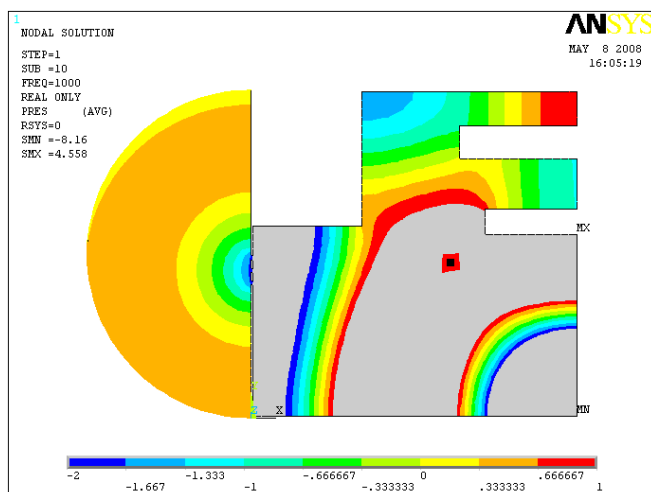


Obr. 22 Šíření hluku uvnitř a vně počítače a) pozice 3 b) pozice 4

1kHz



Obr. 23 Šíření hluku uvnitř a vně počítače a) pozice 1 b) pozice 2



Obr. 24 Šíření hluku uvnitř počítače a) pozice 3 b) pozice 4

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech

	300Hz	1kHz
Poloha 1	0,00468513 Pa	0,0376217 Pa
Poloha 2	0,00093858 Pa	0,18659 Pa
Poloha 3	0,270903 Pa	0,34578 Pa
Poloha 4	0,0005803013 Pa	0,26415 Pa

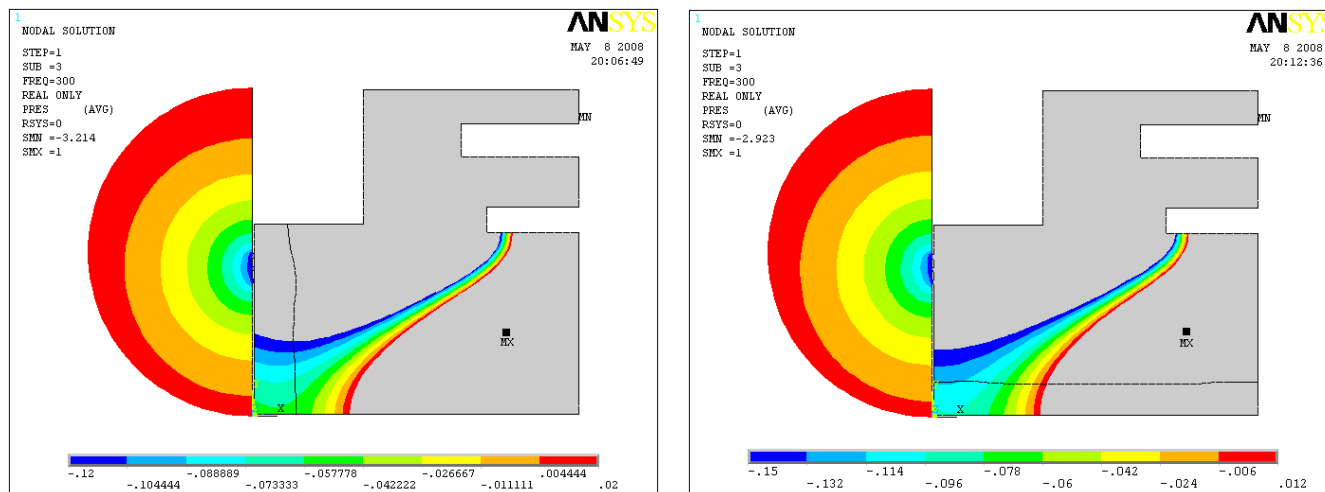
Tab. 4 Hodnoty akustického tlaku v referenčním bodě

Z hlediska vyzařované hladiny akustického tlaku do okolí a za předpokladu dokonalé nepropustnosti ostatních stěn skříně, je pro frekvenci 300Hz optimální poloha zdroje hluku číslo 4, pro frekvenci 1kHz je optimální poloha číslo 1.

4.3.2 Šíření hluku v případě použití zvukově pohltivého materiálu

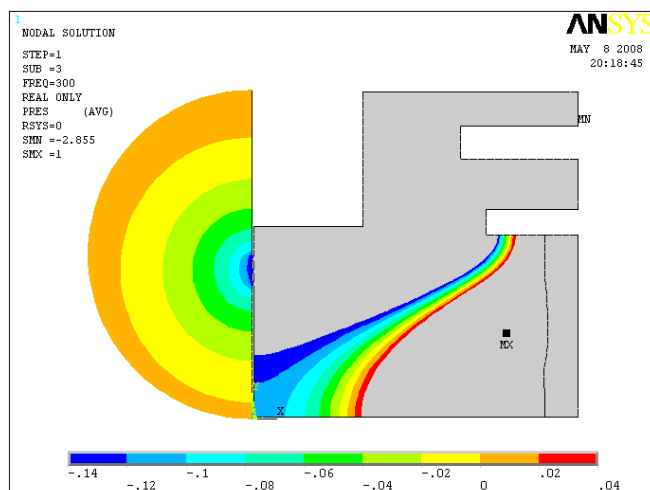
V této části je řešena hodnota vyzařované hladiny akustického tlaku do okolí v případě použití zvukově pohltivého materiálu. Na základě získaných poznatků z předchozí kapitoly, byla k této simulaci vybrána od každé frekvence taková poloha zdroje hluku, ve které je do okolí vyzařována nejnižší hladina akustického tlaku. Simulace byla provedena pro tři různé polohy pohltivého materiálu. Jednotlivé polohy umístění absorpčního materiálu jsou znázorněny na Obr. Získané hodnoty akustického tlaku v referenčním bodě jsou uvedeny v Tab. 5.

Poloha č. 4, $f = 300\text{Hz}$



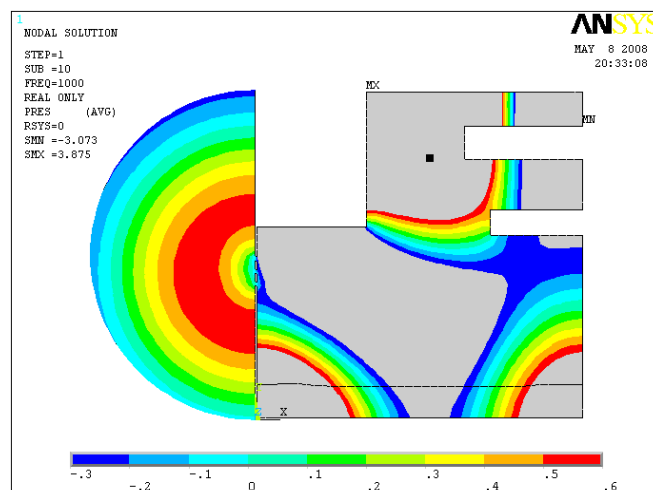
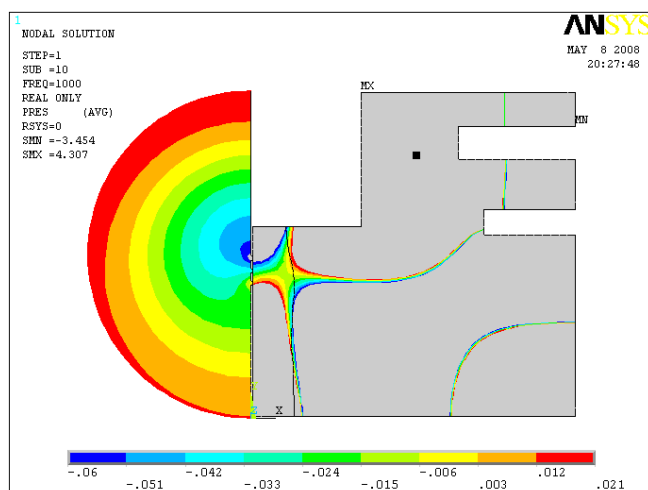
Obr.25 Šíření hluku uvnitř počítače s vlivem absorpčního materiálu a) pozice I b) pozice II

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech

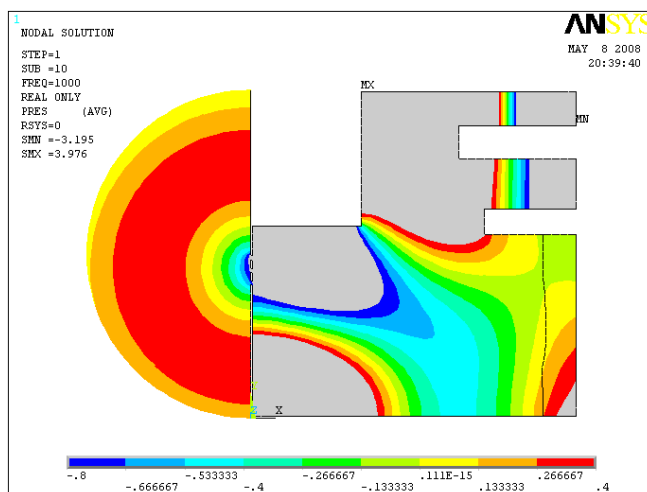


Obr. 26 Šíření hluku uvnitř počítače s vlivem absorpčního materiálu v pozici III

Poloha č.1, $f = 1\text{kHz}$



Obr.27 Šíření hluku uvnitř počítače s vlivem absorpčního materiálu a) pozice I b) pozice II



Obr. 28 Šíření hluku uvnitř počítače s vlivem absorpčního materiálu v pozici III

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech

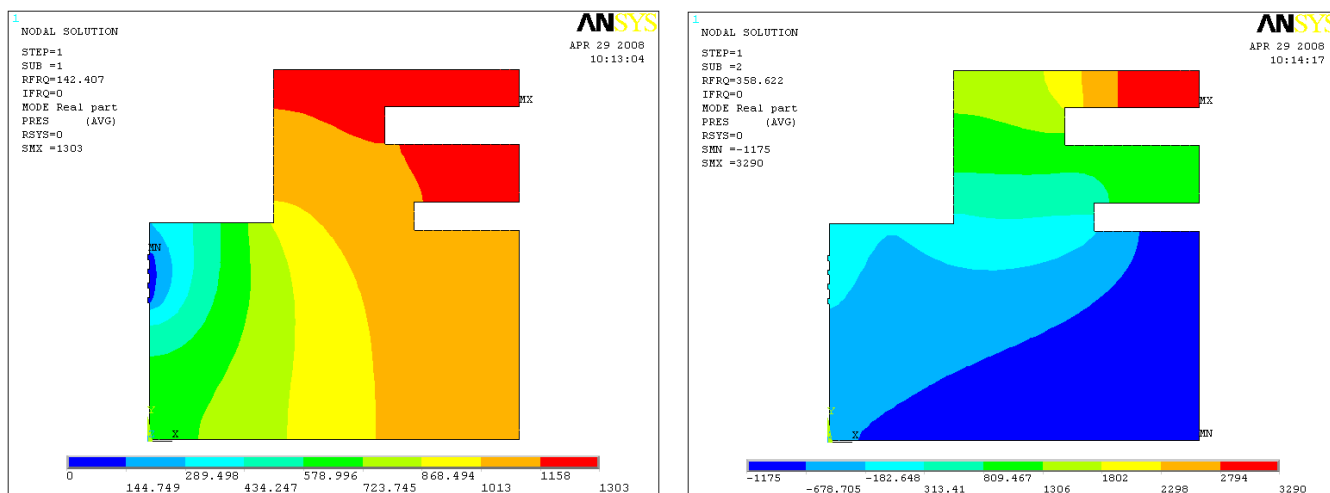
Pozice absorpční vrstvy	Hodnota akustického tlaku v ref. bodě pro 300Hz	Hodnota akustického tlaku v ref. bodě pro 1kHz
I	1,61490E-02 Pa	1,59530E-02 Pa
II	5,92500E-03 Pa	1,62330E-01 Pa
III	1,18627E-02 Pa	1,05847E-01 Pa

Tab. 5 Akustický tlak v referenčním bodě v závislosti na poloze absorpční vrstvy. Poloha zdroje v pozici 3 a 1.

Výsledné hodnoty ukazují, že použití zvukově pohltivého materiálu není nejlepší řešení pro snížení hluku vyzařovaného do okolí. V některých případech dochází dokonce ke zvýšení hladiny tlaku vyzařované do okolí. Vlnění je složitý děj, při kterém dochází k mnoha odrazům, lomům a interferencím mezi vlnami. Tyto interference jsou konstruktivní i destruktivní. Při použití pohltivého materiálu může docházet k zániku nebo útlumu vln, které se podílejí na výsledném akustickém poli destruktivně. Následkem může být tedy i zvýšená hladina akustického tlaku vyzařovaného do okolí, jak je vidět na některých výsledcích uvedených v Tab. 5.

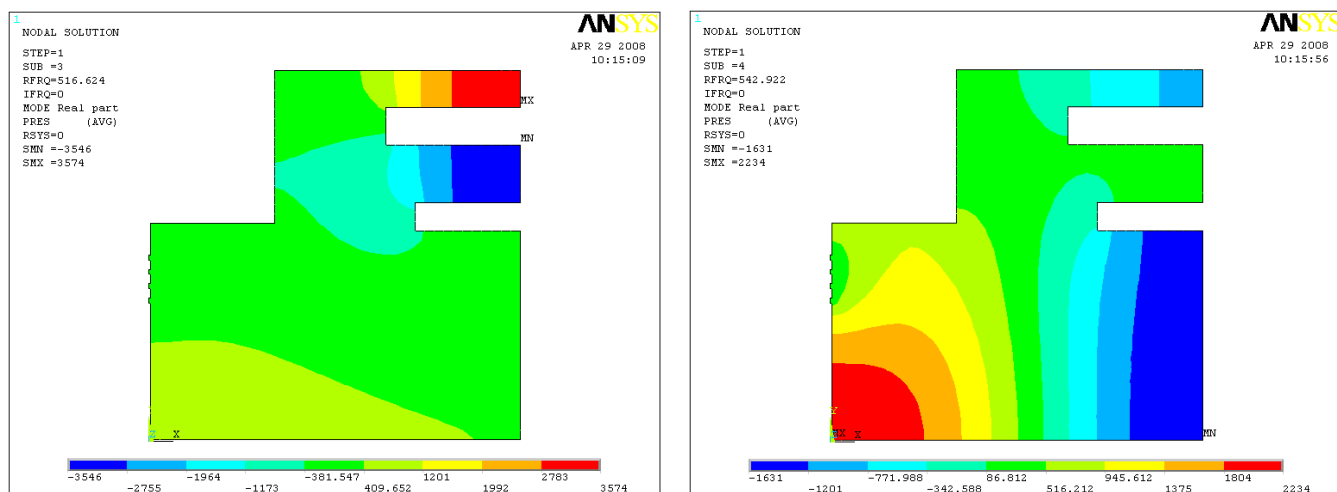
4.4 Zjištění vlastních frekvencí

Ke zjištění vlastních frekvencí vnitřního prostoru počítače byla použita modální analýza v systému Ansys. Na následujících obrázcích je možno vidět první čtyři módy vnitřního prostoru. V Tab. 6 jsou uvedeny vypočtené vlastní frekvence.



Obr. 29 Průběh tlaků pro první dva módy akustického prostoru uvnitř počítače

4. Simulace šíření hluku počítaná pomocí MKP na jednoduchých modelech



Obr. 30 Průběh tlaků pro třetí a čtvrtý mód akustického prostoru uvnitř počítače

Mód	Frekvence [Hz]
1	142
2	358
3	516
4	543

Tab. 6 Vlastní frekvence akustického pole uvnitř počítače

Ze zjištěných frekvencí je možno vidět, že frekvence třetího módu se blíží k hodnotě, na které byly prováděny simulace šíření hluku.

5. Závěr

Cílem této práce bylo vypracování přehledu možností snížení hluku počítačů a simulování vlivu polohy zdroje hluku uvnitř počítače a simulování vlivu aplikace zvukově pohltivého materiálu na hodnotu hluku vyzařovaného do okolí. Teoretická rešerše se zabývá vznikem, šířením a působením hluku. Další část se skládá z přehledu různých možností odhlučnění počítače se zaměřením na aktivní a pasivní způsoby chlazení, hlavní pozornost je zaměřena na současně vyráběné tiché chladiče. Je také zmíněno použití wind-tunelů a přechodových tunelů, které omezují vznik turbulentního proudění. Zároveň je poukázáno na to, že z hlediska hlučnosti jsou účinná technologická řešení zaměřená na snižování taktu procesoru v klidu a dynamické regulování otáček větráků podle aktuálního zatížení procesoru.

Pomocí konečnoprvkového programu Ansys byla provedena simulace šíření akustického tlaku uvnitř skříně počítače a vyzařování tlaku do okolí. Simulace byla provedena pro dvě frekvence a různé polohy zdroje hluku. Dále byla provedena modální analýza s cílem zjištění vlastních frekvencí vnitřního prostoru. Ukázalo se, že počáteční modální vlastní frekvence akustického subsystému vnitřního prostoru počítačové skříně jsou v oblasti frekvencí vyzařovaných zdroji hlavními hluku tj. chladicími větráky.

Simulace ukázaly, že na čele počítače (tj. ve směru k uživateli) dochází k významnému vyzařování hluku a případné realizace protihlukového opatření by měla být realizována právě v těchto místech. Hodnota vyzařovaného hluku přitom byla značně citlivá na polohu zdroje hluku uvnitř počítače. Dále se ukázalo, že obkládání vnitřních stěn počítače zvukově pohltivým materiálem není zřejmě na nízkých frekvencích příliš účinné. Vrstva absorpčního materiálu by musela být poměrně silná a k efektivnímu použití není uvnitř skříně dostatek volného prostoru. Z tohoto důvodu by mělo být dosaženo tichého počítače pomocí vhodně voleného chladicího systému. Pozornost by měla být věnována všem otvorům, pomocí kterých dochází k vyzařování hluku do okolí. Tyto otvory by měly být orientovány v na zadním panelu skříně počítače, aby nedocházelo k přímému vyzařování hluku přímo ve směru k uživateli.

Použité zdroje

- [1] BERNAT, Petr. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu* [online]. 2007. Dostupné z:
<http://home.vsb.cz/petr.bernat/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm>
- [2] DVOŘÁK, Josef. *Hluk ve vzduchotechnice (I) - Základní pojmy a praktické vztahy* [online]. 2001-08-10. Dostupné z:
<<http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=626&h=246>>
- [3] PAVOL, Adam. *Úvod do metód spracovania zvuku v súčasnom multimediálnom prostredí* [online]. 2006. Dostupné z:
<http://zvuk.atrip.sk/index.php?site=2_2>
- [4] KOTLÍK, Václav. *Heatpipe: princip a konstrukce* [online]. 2007-02-01. Dostupné z:
<http://www.svethardware.cz/art_doc-D63DE45D7F238AC125726C0070D361.html>
- [5] KWOLEK, Jiří. *Větrné tunely – to nejlepší pro chlazení* [online]. 2002-12-08. Dostupné z:
<http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3441&Itemid=58>
- [6] KWOLEK, Jiří. *Upravujeme PC: Jednoduchý zpomalovač větráčků* [online]. 2004-01-30. Dostupné z:
<http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3729&Itemid=58>
- [7] KWOLEK, Jiří. *Tiché PC: Vzduchotechnika v PC skříni* [online]. 2003-11-04. Dostupné z:
<http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3901&Itemid=58>
- [8] ŠAFRÁNEK, Jakub. *Recept na tichý počítač: Tlumi č zdroje* [online]. 2003-04.07. Dostupné z:
<http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3487&Itemid=58>
- [9] BRABEC, Stanislav. *Počítač běžící, větrající, spící* [online]. 2002-05-27. Dostupné z:
<<http://www.root.cz/serialy/pocitac-bezici-vetrajici-spici/>>
- [10] NOVÁK, Jan. *Akustická pohltivost materiálů* [online]. 2006. Dostupné z:
<<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/KOKA-04-Akusticka%20pohltivost-No-Ka.pdf>>
- [11] STACH, Jan. *Základy PC: chlazení a tichý počítač* [online]. 2006-06-19. Dostupné z:
<http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=7167&Itemid=59>

- [12] *Katalog Alza* [databáze online]. Praha: Alzasoft a.s., 2008. Dostupné z: <http://www.alza.cz/>
- [13] JELÍNEK, J. *Možnosti odhlučnění počítače*. Brno, 2006. 43 s. Bakalářská práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
- [14] VAŇKOVÁ, Marie a kol. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí část I*. 1.vyd. Brno: PC-DIR, spol. s.r.o., 1996. 161 s. ISBN 80-214-0818-9
- [15] VAŇKOVÁ, Marie a kol. *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
- [16] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM[®]. s.r.o., 2005. 177 s. ISBN 80-214-3060-5
- [17] KŘIVOHLÁVEK, Jindřich. *Clazení počítače*. Brno: Computer Press, a.s. , 2007. 183 s. ISBN 978-80-251-1509-1

Seznam použitých zkratek, symbolů a jednotek

Symbol	Název veličiny	Jednotka
T	Teplota	$^{\circ}C$
f	Frekvence	Hz
p	Akustický tlak	Pa
L_p	Hladina akustického tlaku	dB
L_N	Vnímatelná hladina hluku	ph
U	Napětí	V
MU	Pohltivost materiálu	-
c_0	Rychlost šíření zvuku	$m.s^{-1}$
ρ	Hustota	$kg.m^{-3}$