

Ing. Luděk MAREŠ
Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Vliv hluku, vznikajícího při hašení ve výpočetních centrech, na spolehlivost funkce výpočetní techniky

Effect of Noise Generated during Extinguishing in Data Centers on Reliability of Information Technology

Recenzent
Ing. Václav Šimánek

Při činnosti stabilních hasicích zařízení pracujících na principu přívodu inertního plynu se generuje hluk, který má nepříznivý vliv (poruchy funkce disků až jejich havárie) na funkci výpočetní techniky. Této problematice je nutné věnovat pozornost a snižováním hlukové zátěže a zvyšováním odolnosti disků dopady minimalizovat. V článku jsou uvedeny výsledky hlukových měření prováděných při zkouškách hasicích zařízení.

Klíčová slova: výpočetní centra, hašení inertním plynem, hluk trysek, havárie disků

In the case of stationary fire extinguishing systems operating on the principle of inert gas discharge, the generated noise can negatively affect function of information technology (hard discs malfunction and possible failure). This issue needs to be addressed and the impact on discs minimized by reduction of the noise and increase of the discs' resistance. The article presents results of noise measurements carried out during testing of the fire extinguishing system.

Keywords: data centers, inert gas extinguishing, nozzle noise, hard disk failure

ÚVOD

Velká výpočetní centra výrobních závodů se vybavují stabilními hasicími zařízeními (SHZ) pracujícími na principu snížení koncentrace kyslíku aplikací inertního plynu do prostoru serverovny. Během zkoušek SHZ (ani při případném „ostrém“ hašení) není možné, z důvodu negativního dopadu na řízené procesy, vypínat servery a disková pole. Při aplikaci inertního plynu vysokotlakými tryskami během zkoušek SHZ byl pozorován nepříznivý vliv hašení na funkci (spolehlivost) výpočetní techniky, zejména diskových polí.

Z teoreticky možných příčin poruch serverů a diskových polí lze vyloučit napěťové špičky nebo propady v elektrickém napájení vlivem startu záložních zdrojů (při zkouškách SHZ je napájení výpočetní techniky normální). Další možný vliv – změna tlaku při výronu hasicího plynu do prostoru počítačového sálu je nevýznamný. Dle [3] byly provedeny zkoušky při mnohem větších změnách tlaku, než k jakým ve skutečnosti dochází, a k poruchám funkce disků nedocházelo. Jiným možným vlivem je ochlazení disků vzduchem, jehož teplota poklesla vlivem expandujícího hasicího plynu. Tento vliv není příliš pravděpodobný vzhledem k velké tepelné kapacitě kovových konstrukčních částí disku ve vztahu k malé tepelné kapacitě vzduchu.

Jediným významným vlivem, který při hašení může funkci disků ovlivňovat, je silný hluk, který při hašení vzniká. Tento hluk je jednak od výstražné sirény, která se v případě poplachu před zahájením vlastního hašení rozezná, a jednak jde o aerodynamický hluk, který vzniká při průchodu hasicího plynu tryskami. Vlivem hluku pak dochází ke zpomalování operací *zápis/čtení*, při vyšších hodnotách hluku pak k zaparkování hlaviček disku a v krajních případech i k haváriím disků.

PROVEDENÁ MĚŘENÍ

Pro měření byly využity tři zkoušky SHZ v různých sálech serverovny velkého výpočetního centra. Jedná se o sály s výpočetní technikou (disková pole, servery) instalovanou ve skříních (RACKy). RACKy tvoří řady, ulička-

mi je přiváděn z podpodlahového prostoru chladicí vzduch (chladná ulička) a po průchodu RACKy je ohřátý vzduch vyfukován do uličky na opačné straně (teplá ulička), odkud pak směřuje do klimatizačních jednotek. Přírodní trysky hasicího plynu opatřené tlumiči hluku jsou rovnoměrně rozmístěny v sále, a to jednak pod stropem a jednak pod podlahou.

Přibližně ¾ minuty před začátkem vlastního hašení se rozezná sirény pro varování osob, které se zde případně vyskytují. Ve výpočetním centru, kde bylo měření prováděno, jsou sirény výstražného zařízení elektronického typu.

V serverovnách, ve kterých zkoušky probíhaly, nebyla ještě nainstalována celá technologie, měření však probíhalo v místech, kde již byly kompletní řady RACKů. Také RACKy nebyly plně osazeny hardwarem, v prázdných pozicích byly záslepky. U druhého měření in situ byla jedna chladná ulička z důvodu lepšího proudění chladicího vzduchu „zastřešena“ (překryta deskami v úrovni horní hrany RACKů) a uzavřena na vstupu dveřmi.



Obr. 1 Umístění mikrofону (měření č. 1)

Fig. 1 Positioning of microphone (measurement No. 1)

Další měření proběhla v bezdovukové akustické laboratoři na ČVUT při simulovaném hluku v rámci řešení bakalářské práce [4].

MĚŘENÍ Č. 1 PŘI ZKOUŠENÍ SHZ

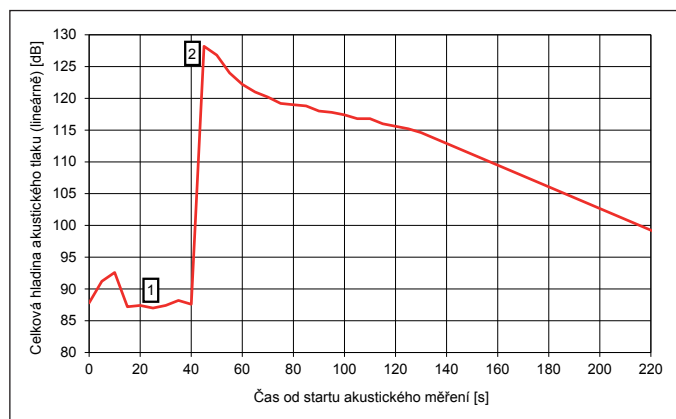
Metodika měření

Byla měřena spektra hladin akustického tlaku a hodnoty integrální (přes celé spektrum) zvukovým analyzátozem Brüel & Kjaer 2260. Měření probíhalo v pětisekundových krocích. Mikrofon zvukoměru byl upevněn ve stativu, umístěn byl v uličce před RACKem v místě nejbližším trysce SHZ (obr. 1).

Výsledky měření hluku

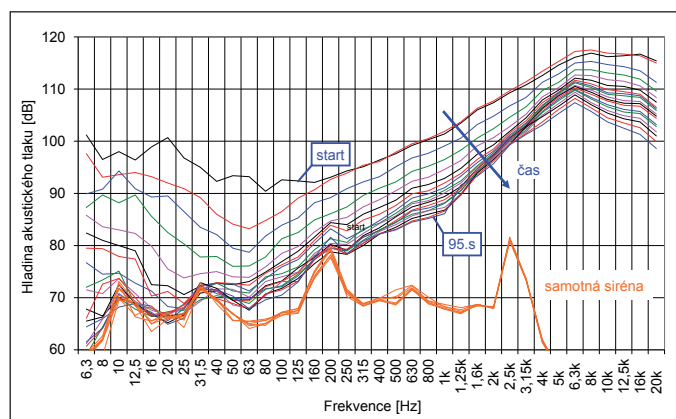
V diagramu na obr. 2 je vynesena časový průběh celkové hladiny akustického tlaku (lineárně přes celé měřené spektrum). Zachycuje signál sirény (1), nástup (2) a průběh hašení. Doběh hašení (přívodu hasicího plynu) v naměřených datech není. Maximální hodnota hladiny akustického tlaku nastala na počátku vstříku inertního plynu do prostoru a činí 128,2 dB.

V diagramu na obr. 3 jsou frekvenční spektra zvuku při hašení. Jsou zobrazeny křivky z 18 po sobě jdoucích záznamů (měření) o trvání 5 sekund. Protože i v průběhu hašení zněla siréna, jsou zobrazená spektra výsledkem superpozice hluku pozadí, hluku hasicích trysek a zvuku sirény. V grafu je dále zobrazeno frekvenční spektrum zvuku vydávaného pouze sirénou (vč. pozadí) – jsou zobrazeny křivky z 6 po sobě jdoucích záznamů hlukoměru.



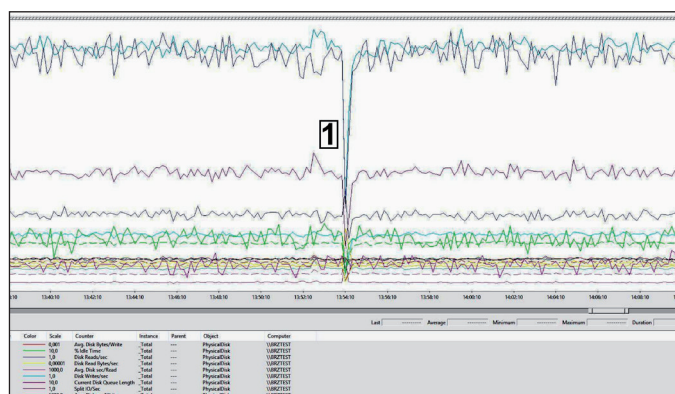
Obr. 2 Časový průběh hluku během hašení (měření č. 1)

Fig. 2 Time course of noise during extinguishing (measurement No. 1)



Obr. 3 Časový průběh akustických spekter v průběhu hašení od startu hašení do 95. sekundy od startu a spektrum samotné sirény (měření č. 1)

Fig. 3 Time course of acoustic spectra during extinguishing from the beginning of the extinction to 95th second from the beginning and spectrum of the siren (measurement No. 1)



Obr. 4 Sejmутý časový záznam I/Ometru, ze kterého je patrný pokles výkonu serverového disku na začátku vypouštění hasicího plynu (měření č. 1)

Fig. 4 I/O meter data record showing a drop in performance of server disc at the beginning of the extinguishing gas discharge (measurement No. 1)

Důsledky na výpočetní techniku

Při hluku sirén nedošlo k žádnému narušení či omezení funkce disků.

Při spuštění SHZ došlo u disků v sedmi serverech k okamžitému snížení (zastavení) operací, ale posléze se jejich funkce rychle stabilizovala. Příklad záznamu I/Ometru je na obr. 4, kde je vynesena časový průběh jednotlivých metrik. Je zde zřejmý propad operací (1) v okamžiku startu hasicího zařízení.

Závažné důsledky mělo hašení na diskové pole, kdy bezprostředně po začátku vypouštění hasicího plynu došlo k havárii čtyř disků z deseti.



Obr. 5 Umístění mikrofonů v uličce mezi RACKy (měřicí místo č. 2 a 3, měření č. 2)

Fig. 5 Positioning of microphones in the aisle between RACKs (measuring points No. 2 and 3, measurement No. 2)

MĚŘENÍ Č. 2 PŘI ZKOUŠENÍ SHZ

Zkouška SHZ probíhala v dalším sále centra. Byl použit jiný scénář hašení – průběh hašení byl rozfázován – na začátku hašení byl aplikován plyn pouze z části zásobníků, ze zbývajících zásobníků byl plyn aplikován po 2,5 min. v druhé fázi. Měření hluku bylo oproti prvnímu měření rozšířeno – byl použit vícekanálový zvukový analyzátor, který umožnil měřit současně na více měřicích místech.

Metodika měření

Byla měřena spektra hladin akustického tlaku vícekanálovým zvukovým analyzátozem PULSE typ 3560-B se SW pro FFT a CPB analýzu typ 7700. Měřeno bylo ve frekvenčním rozsahu třetinooktáv 4 Hz až 20 kHz a probíhalo v půlsekundových intervalech. Údajem analyzátoru je ekvivalentní hladina akustického tlaku ve třetinooktávě za celou dobu jednoho intervalu, tedy půl sekundy. Hodnoty integrální, tj. celkové hladiny akustického tlaku přes celé spektrum, byly získány výpočtem ze spekter.

Mikrofony byly upevněny ve stativech a umístěny v jednotlivých měřicích místech (MM), situovaných v zastřešené chladné uličce (viz obr. 5 a 6). Uvádíme výsledky měření počínaje MM2, které bylo situováno v horní části RACKu v místě co nejbližším trysce SHZ. MM3 bylo zcela na konci (resp. začátku) uličky, tedy co nejdále od trysky, aby bylo možné lépe podchytit rozdíly hlukového zatížení mezi místy poblíž trysky a místy od trysky vzdálenými. Poslední MM4 bylo zvoleno přímo v RACKu neosazeném technikou, v místě čelní strany (budoucího) serveru.

Výsledky měření hluku

V diagramu na obr. 7 je vynesena časový průběh celkové hladiny akustického tlaku (lineárně přes celé měřené spektrum) pro jednotlivá měřicí

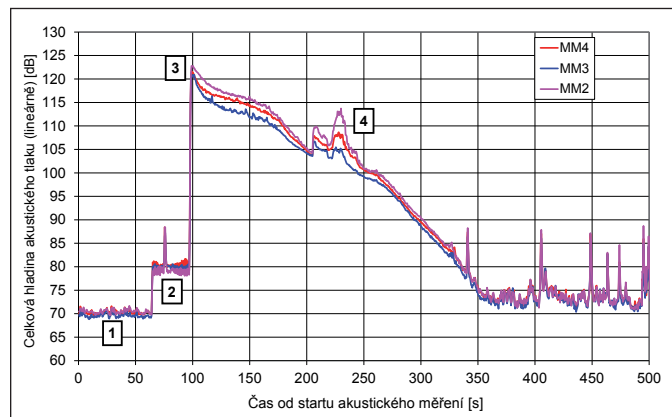


Obr. 6 Umístění mikrofonů přímo v RACKu (měřicí místo č. 4, měření č. 2)

Fig. 6 Positioning of microphones directly in the RACK (measuring point No. 4, measurement No. 2)

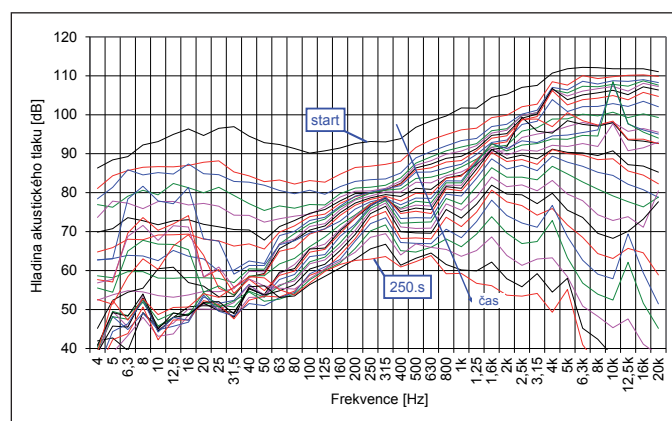
místa. V diagramu je zřejmý hluk pozadí (1) (vzduchotechniky), signál sirény (2), dále pak nástup (3) a průběh první fáze hašení i začátek (4) druhé fáze hašení. Maximální hodnota hladiny akustického tlaku je nižší než u měření č. 1, v měřicím místě 2 je 122,8 dB, v měřicím místě 3 je 120,8 dB a v měřicím místě 4 je 121,6 dB.

Z naměřených hodnot byla spočítána frekvenční spektra ekvivalentních hodnot akustického tlaku pro intervaly o délce 10 s, která jsou



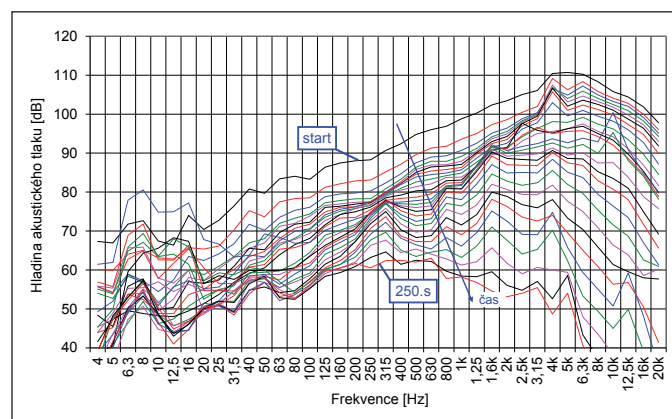
Obr. 7 Časový průběh hluku během hašení (měření č. 2)

Fig. 7 Time course of noise during extinguishing (measurement No. 2)



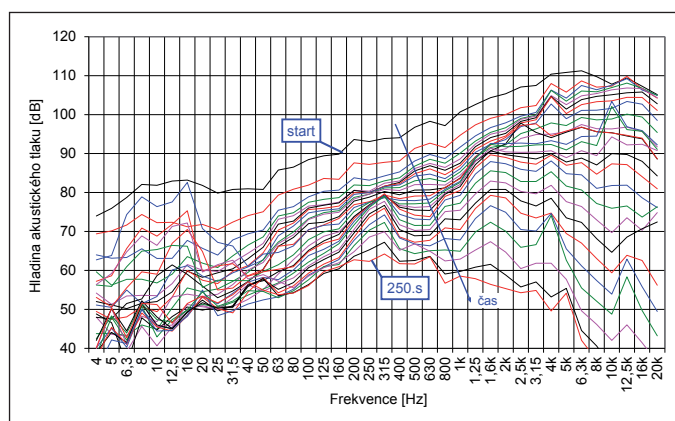
Obr. 8 Časový průběh akustických spekter v průběhu hašení od startu hašení do 250. sekundy od startu (měření č. 2, měřicí místo 2)

Fig. 8 Time course of acoustic spectra during extinguishing from the beginning of the extinction to 250th second from the beginning (measurement No. 2, measuring point 2)



Obr. 9 Časový průběh akustických spekter v průběhu hašení od startu hašení do 250. sekundy od startu (měření č. 2, měřicí místo 3)

Fig. 9 Time course of acoustic spectra during extinguishing from the beginning of the extinction to 250th second from the beginning (measurement No. 2, measuring point 3)



Obr. 10 Časový průběh akustických spekter v průběhu hašení od startu hašení do 250. sekundy od startu (měření č. 2, měřicí místo 4)

Fig. 10 Time course of acoustic spectra during extinguishing from the beginning of the extinction to 250th second from the beginning (measurement No. 2, measuring point 4)

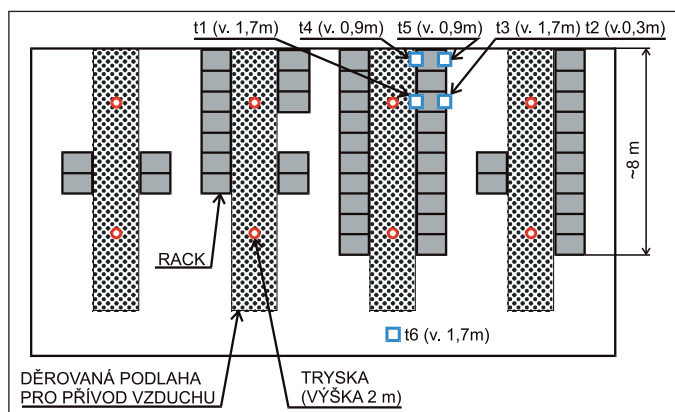
pro 26 po sobě jdoucích intervalů zobrazena v diagramech na obr. 8 až 10 pro jednotlivá měřicí místa. Z těchto spekter je patrné, že ve vyšších frekvencích je v místech poblíž trysky i vzdálenějších hladina akustického tlaku zhruba stejná, kdežto v nízkých frekvencích je poblíž trysky výrazně vyšší.

Výsledky měření teploty

Při měření č. 2 byly měřeny též průběhy teplot vzduchu/hasičského plynu. A to jednak bezprostředně u výstupu hasičského plynu z trysky „ručně“ digitálním teploměrem Anritsu s termočlánkovým čidlem o malé tepelné kapacitě. Dále pak teploty na vstupech a výstupech RACKů a, pro úplnost, i v prostoru sálu digitálními záznamníky (datalogery) teploty Omega OM 2000. Schéma rozmístění měřicích míst je na obr. 11, ze kterého je patrné rozmístění RACKů a „studené“ uličky pro přívod chladicího vzduchu (šrafovaná) a „teplé“ uličky pro odvod ohřátého vzduchu.

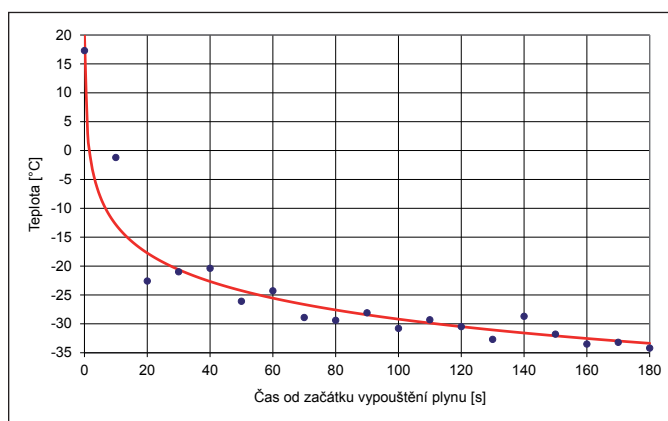
V diagramu na obr. 12 je zobrazen průběh teploty hasičského plynu u výstupu z trysky. Je zřejmé, že dochází k rychlému, zpočátku přímo skokovému, poklesu teploty, a to až do hlubokých podnulových teplot.

V diagramu na obr. 13 je znázorněn průběh teploty vzduchu, resp. směsi vzduchu a hasičského plynu, přímo na vstupu chladicího vzduchu do RACKu („t1“, „t4“). Teplota zde klesá s nepatrným gradientem, a to i u RACKu umístěného těsně u hasičské trysky (u tohoto RACKu je vstupní teplota vyšší, což je způsobeno tím, že je dále od přívodu vzduchu z klimatizace). V diagramu jsou dále teploty na výstupu vzduchu z RACKů („t2“, „t3“,



Obr. 11 Rozmístění měřicích míst pro měření teploty (měření č. 2)

Fig. 11 Location of measuring points for temperature measurement (measurement No. 2)



Obr. 12 Průběh teploty vzduchu (plynu) v bezprostřední blízkosti trysky (měření č. 2)

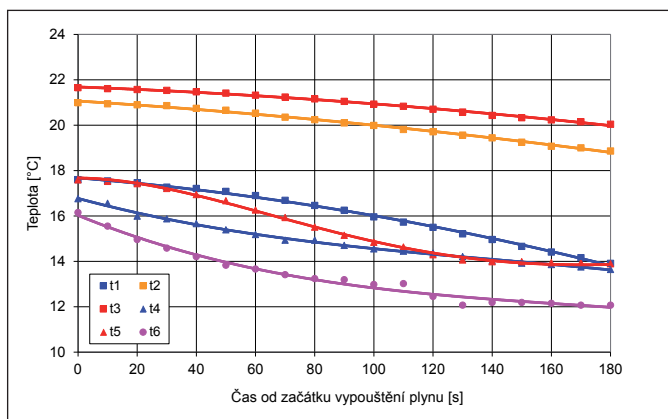
Fig. 12 Air (gas) temperature distribution in the immediate vicinity of the nozzle (measurement No. 2)

„t5“), i tyto teploty klesají s nepatrným gradientem. Vyšší ohřátí vzduchu u prvního RACKu je důsledkem většího osazení RACKu hardwarem.

Důsledky na výpočetní techniku

Při tomto měření (měření č. 2) operátoři serverů sledovali funkci šesti disků, z metrik byly vybrány dvě: počet zápisů na disk/sek a počet čtení z disku/sek. Zátěž byla prováděna I/Ometrem (pozn.: parametry nastavení testu IT specialistou: 1 Worker pro každý disk; 5 outstanding I/Os; Access Specification: 4k – 50 % Read – 0 % random).

Při hluku sirén nedošlo ani při měření č. 2 k žádnému narušení či omezení funkce disků. Sledované disky akustické zatížení při spuštění SHZ vydržely, žádný z nich nebyl zničen. Na začátku vypouštění hasičského plynu došlo k výraznému zpomalení až zastavení diskových operací, po cca 10 s se vrátila činnost do normálu (stavu před zkouškou SHZ). Vzhledem k tomu, že hluk vyvolávaný tryskami za tento krátký čas poklesl jen málo, lze se domnívat, že disky reagují zpomalením funkce spíše na gradient nárůstu hluku než na jeho absolutní výši. To bude platit pouze v případě, že hluk nepřekročí určitou kritickou hranici, při níž dojde k havárii.



Obr. 13 Průběh teploty vzduchu v RACKu – vstupujícího a vystupujícího (měření č. 2) – místa měření teploty: t1 – vstup do RACKu umístěného přímo u hasičské trysky; t2, t3 – výstup z RACKu umístěného přímo u hasičské trysky; t4 – vstup do RACKu umístěného v sestavě RACKů; t5 – výstup z RACKu umístěného v sestavě RACKů; t6 – prostor sálu – komunikační prostor mimo řady RACKů

Fig. 13 Air temperature distribution in RACK – inlet and outlet (measurement No. 2) – points of temperature measurement: t1 – inlet into the RACK located directly by the extinguisher nozzle; t2, t3 – outlet from the RACK located directly by the extinguisher nozzle; t4 – inlet into the RACK located in the RACKs array; t5 – outlet from RACK located in the RACKs array; t6 – room space – utility space out of the RACK arrays

MĚŘENÍ V AKUSTICKÉ LABORATOŘI

Experimentální zařízení

Měření probíhalo v akustické bezdovukové laboratoři Ústavu techniky prostředí FS ČVUT [4]. Měřeno bylo na zapůjčeném serveru (obr. 14) osazeném 10 ks disků HP čtyř typů. Disky byly po několika letech provozu, tedy částečně opotřebené. Pro měření byl vybrán od každého typu jeden disk. Při vlastním měření byl do serveru instalován vždy jen jeden disk (měřený), a to z prostorových důvodů – přímo na disku byly připevněny akcelerometry s přírodními kabely. Jeden akcelerometr (obr. 15) byl situován kolmo k ose hlavy disku a druhý rovnoběžně s osou.

Hluk byl vyvozován generátorem šumu s nastavitelnou frekvencí NEUTRIK MR1 napojeném na reproduktor CARVIN a byl měřen mikrofonem umístěným těsně nad serverem v místě měřeného disku. Vyhodnocení hladin akustického tlaku a hladin vibrací bylo zajišťováno vícekanálovým zvukovým analyzátozem PULSE typ 3560-B.

Metodika měření

V první fázi experimentu byl po třetinoctávách proměřen frekvenční rozsah 4 Hz až 20 kHz s cílem nalezení rezonančních frekvencí, při nichž dochází k omezení diskových operací. Funkce disku byly měřeny I/Ometrem (pozn.: parametry nastavení testu IT specialistou: 1 Worker pro každý disk; 1 outstanding I/Os; Access Specification: 4k – 66 % Read – 34 % random).

V druhé fázi experimentu pak byla měřena funkce disků v jednotlivých třetinoctávách zjištěné oblasti rezonance 1 až 4 kHz (1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0 kHz), a to při hladině akustického tlaku 100 až 130 dB.

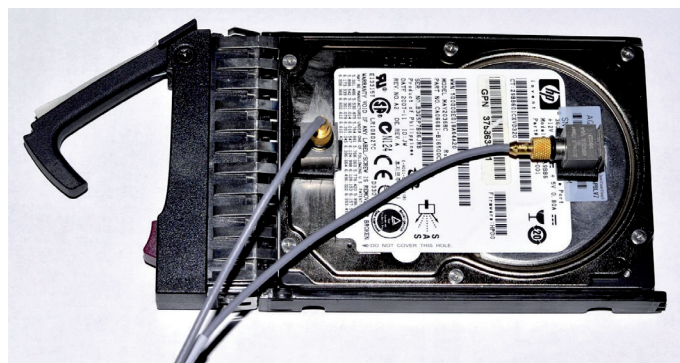
Výsledky měření

Hladiny akustického tlaku, při kterých došlo u jednotlivých měřených disků k omezení až úplnému zastavení diskových operací, jsou pro měřený rozsah frekvencí uvedeny v tab. 1; měření bylo provedeno při hladině akustického tlaku do hodnoty 130 dB (maximum rozsahu zvukového analyzátoru).



Obr. 14 Server proměřovaný v akustické laboratoři

Fig. 14 Server measured in acoustic laboratory



Obr. 15 Proměřovaný disk s akcelerometry

Fig. 15 Measured disc with accelerometers

Tab. 1 Hladiny akustického tlaku, při kterých v daných frekvencích dojde k poruše funkce disku

Tab. 1 Sound pressure levels for which the disc function fails at given frequencies

f [kHz]	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0
1. disk	>130 dB	>130 dB	128 dB	118 dB	>130 dB	119 dB	119 dB
2. disk	128 dB	105 dB	126 dB	128 dB	126 dB	123 dB	>130 dB
3. disk	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB
4. disk	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	>130 dB	117 dB

ZÁVĚR

Při hašení požárů ve velkých výpočetních centrech aplikací inertního plynu do prostoru s výpočetní technikou dochází k poruchám funkce diskových polí. Správnou funkci výpočetní techniky je nutné z důvodu dopadu na řízený výrobní proces zajistit i v případě požáru, techniku nelze vypínat. Z teoreticky možných příčin poruch vznikajících při hašení lze vyloučit všechny kromě hluku. Tento hluk vzniká prouděním plynu vysokotlakými tryskami (byť jsou opatřeny tlumiči), případně může mít vliv i hluk výstražné sirény. Hluk způsobí vibrace disků zejména v rezonančních kmitočtech s důsledkem snížení počtu operací až k nule, v krajním případě i havárii disku.

Při měřeních provedených během zkoušek hasicího zařízení se na začátku hašení ukazuje výrazná špička hladiny akustického tlaku, která dosahovala hodnot blízkých se 130 dB. Důsledkem byly poruchy funkce disků, v několika případech i jejich havárie. Významné snížení následků lze docílit rozfázováním aplikace inertního plynu (druhé měření), kterým se počáteční hluková špička sníží.

Při měřeních na jednotlivém serveru v akustické laboratoři bylo u měřených disků několika typů zjištěno, že rezonanční frekvence (při nichž dochází k poruchám funkce disků) jsou v oblasti 1 až 4 kHz. Hladiny akustického tlaku, při kterých dojde u určité rezonanční frekvenci k poruše funkce disku, se pohybovaly od 100 do 130 dB. Odolnost disků vůči hluku je dána jejich konstrukcí a konkrétní rizikové hodnoty frekvencí a hladin akustického tlaku se pro různé disky pohybují v uvedeném pásmu hodnot.

Tato problematika má zásadní důsledky na výrobní procesy, které se v dnešní době bez řízení mohutnou výpočetní technikou již neobejdou. Je proto potřeba jí věnovat pozornost a negativní dopady minimalizovat tlumením hlukových špiček při činnosti SHZ a zvyšováním odolnosti disků proti hluku (vibracím).

Kontakt na autora: ludek.mares@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] GREEN, K., NELSON, D., NITIN, P., NICKERSON, M. Hard drive performance degradation due to high level noise in data centers. In: *Inter-noise 2011, Osaka, Japan*. September 2011.
- [2] HIGLEYMAN, W. H. Fire Suppressant's Impact on Hard Disks [online]. February 2011. Dostupné z: <http://www.availabilitydigest.com>
- [3] Potential problems with computer hard disks when fire extinguishing systems are released [online]. *Firemní materiály („White paper“) Siemens Switzerland Ltd. 2010*. Dostupné z: <http://www.siemens.com/sinorix>
- [4] BABÁK, M. Vliv hluku vznikajícího při činnosti SHZ na funkci diskových polí. Praha, 2013. Neobhajovaná bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí.