

Optimalizace kabiny nakladače

Ing. Jan Blata, Ing. Oldřich Učeň, Ph.D., Ing. Tomáš Kubín, Ing. Josef Kristen

VŠB - Technická univerzita Ostrava, FS - Katedra výrobních strojů a konstruování, Ostrava – Poruba, jan.blata@vsb.cz

Přijato: 28. 7. 2010, recenzováno: 1. 9. a 4. 9. 2010

Abstrakt

Náročné provozní podmínky při těžební činnosti kladou vysoké nároky na technickou spolehlivost strojních zařízení a také negativně působí na obsluhu strojních zařízení. Působení vnějších vlivů na obsluhu má negativní vliv na zdraví i na celkový pracovní výkon. Mezi základní negativní faktory působící na obsluhu patří vliv vibrací, hluku, teploty atd. Vibrace způsobují dodatečné cyklické namáhání konstrukčních dílů strojních zařízení a neúměrně snižují jejich životnost, proto je třeba vibrace minimalizovat.

Loader cabin optimization

Operational conditions at mining sites are very difficult. Thus, they require high technical reliability of used machinery and also affect negatively machinery operation. Outdoor conditions influences operator's health as well as the total working performance. Vibration, noise, and temperature are the main negative factors affecting operators. Vibration should be minimized as it causes additional cyclic stress to construction parts and disproportionally reduce their service life.

Optimierung der Kabine des Laders

Anspruchsvolle Betriebsbedingungen bei der Bergbautätigkeit stellen hohe Anforderungen auf die technische Verlässlichkeit der Maschinenanlagen und wirken negativ auch auf das Bedienungspersonal der Maschinenanlagen. Die äußere Einflüsse auf das Bedienungspersonal wirken negativ auf die Gesundheit, aber auch auf die gesamte Arbeitsleistung. Zu den grundlegenden negativen Faktoren gehören Einwirkungen von Vibrationen, dem Lärm, der Temperatur usw. Vibrationen verursachen zusätzliche zyklische Beanspruchung der Bauteile von Maschinenanlagen und unproportional verringern ihre Lebensdauer, deshalb müssen Vibrationen minimiert werden.

Klíčová slova: vibrodiagnostika, rezonance, modální analýza.

Keywords: vibrodiagnostics, resonance, modal analysis.

1 Úvod

V tomto případě byly řešeny nadměrné vibrace u kabiny nakladače, kde docházelo při pracovních otáčkách motoru (1450 min^{-1}) k neúměrnému zvýšení vibrací. Obsluha stroje si přímo stěžovala na neúměrné vibrace. Proto jsme byli osloveni zákazníkem pro provedení měření, a následně i o návrh optimalizace kabiny.

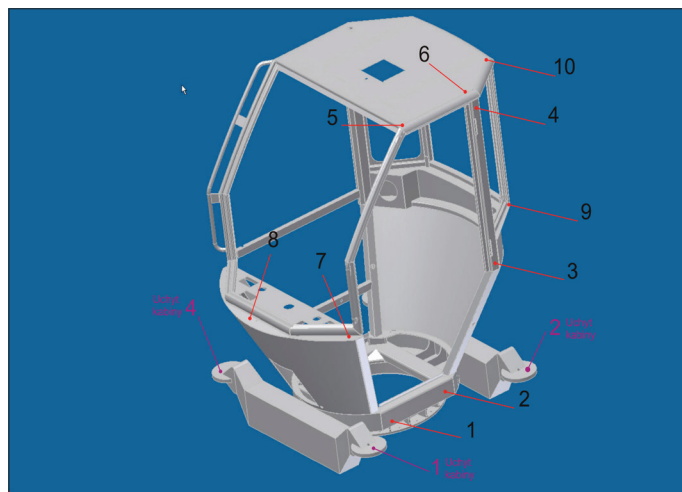
2 Základní parametry stroje

Stroj je poháněn čtyřválcovým vznětovým vodou chlazeným motorem Cummins B 3.3 o objemu 3300 cm^3 , o výkonu 60 kW. Volnoběžné otáčky motoru jsou při 850 min^{-1} (14,2 Hz), pracovní otáčky pro provoz hydraulického systému jsou nastaveny na 1450 min^{-1} (24,2 Hz), omezení maximálních otáček je nastaveno na 2450 min^{-1} (41 Hz). Kabina stroje je provedena jako svařenec z profilů a je spojena se základním rámem pomocí 4 silentbloků. Otáčení kabiny je realizováno hydraulicky s převodem pomocí ozubeného věnce s vnitřním ozubením a pastorkem.

3 Provedení měření a průběh vyhodnocení

Před vlastním měřením se ukázal jako neocenitelný pomocník jednoduchý Vibropen od firmy SKF. S jeho využitím jsme dokázali velmi rychle určit měřicí místa s největšími vibracemi, na kterých bude probíhat další měření za použití již mnohem sofistikovanějšího, ale časově náročnějšího měřicího zařízení. Vzhledem k tomu, že byl kladen velký důraz na co

nejkratší délku měření, musela se měřicí místa redukovat na minimum. Za pomoci již zmíněného Vibropenu jsme dokázali tímto jednoduchým způsobem vybrat vhodná měřicí místa s velkou vypovídající schopností o vibracích celé kabiny. Měřená místa jsou znázorněna na obrázku č. 1. Nejzajímavější měření proběhla přímo na rámu stroje a na úchyty kabiny za pomoci analyzátoru Adash VA 4 Pro. Pro následná vyhodnocení naměřených výsledků byl použit program od firmy Adash DDS 2007. Kabina je v těchto místech spojena s rámem stroje na čtyřech místech za pomoci 4 silentbloků, viz obrázek č. 2. Naměřené hodnoty efektivních hodnot vibrací jsou pro přehlednost zpracovány v samostatné tabulce č. 1. Jak je z tabulky



Obr. 1: Znázornění měřených míst levé strany

Tab. 1: Efektivní hodnoty vibrací na rámu stroje a na úchyty kabiny v horizontálním směru

Měřicí bod	1 (LP)	2 (LZ)	3 (LZ)	4 (LZ)
Efektivní hodnoty rychlosti vibrací rámu stroje RMS 10 - 1600 Hz [mm/s]	1,7	1,6	1	1,2
Efektivní hodnoty rychlosti vibrací úchyty kabiny RMS 10-1600 Hz [mm/s]	1,4	1,6	2,1	1,3

patrně, hodnoty vibrací na úchyty kabiny na pravé straně dosahují dokonce větších hodnot, než přímo na rámu stroje, u pravého zadního úchyty je to dokonce dvojnásobek oproti hodnotě vibrací přímo na rámu pod tímto místem. Z těchto hodnot můžeme usuzovat, že stroj je pravděpodobně provozován v rezonanční oblasti nebo vinou špatných nebo nevhodně volených silentbloků dochází k šíření vibrací od jednoho úchyty kabiny ke druhému. Další zajímavostí je v některých případech nízká velikost amplitudy na otáčkové frekvenci (její velikost je závislá na otáčkách), ale vysokou amplitudou je až druhý násobek otáčkové frekvence, viz obrázek č. 3. Tato dominance druhé harmonické frekvence je způsobena použitím čtyřválcového vznětového motoru, u kterého na jednu otáčku klikového hřídele připadají dva zážehy v pracovním válci. Vzhledem k této skutečnosti je třeba počítat s tím, že kabina je buzena otáčkovou složkou, ale i jejím dvojnásobkem. Zobrazení spekter vibrací bodů na levé straně kabiny je na obrázku č. 5. Jak je vidět, čím blíže k rámu, tím dominantnější se stává amplituda vibrací na druhé harmonické.

Pro potvrzení nebo vyvrácení vzniku rezonance byla provedena měření rozběhů přímo na úchytech kabiny a na rámu stroje (viz obrázek č. 4). Z těchto měření lze usuzovat na možný vznik rezonance v oblasti pracovních otáček, ale i na zvýšení vibrací kolem 1050 a 1800 min⁻¹. Velikost amplitudy vibrací při 1800 min⁻¹ je ale mnohem menší než u předchozích dvou. S dalším zvyšováním otáček dochází k ustálení stroje, snižování vibrací a také ke snižování amplitudy druhé harmonické složky a zvyšování amplitudy na otáčkové frekvenci a její dominanci. K nejvyšším hodnotám vibrací dochází při 1470 min⁻¹, což jsou v podstatě pracovní otáčky stroje. Tato vysoká hodnota vibrací stroje nepříznivě ovlivňuje životnost stroje i pracovní prostředí obsluhy.

4 Modální analýza kabiny

Pro zjištění rezonančních frekvencí kabiny a její následnou optimalizaci byl vytvořen upravený 3D model kabiny byly a provedeny simulace modální analýzy v programu Autodesk Inventor Professional 2010. Vzhledem k velkým nárokům na hardware počítače musel být analyzovaný model upraven a zbaven veškerých s analýzou nesouvisících komponent. Původní model (dodán firmou) obsahoval díly s úpravami pro svařování (mezery, úkosy atd.). Tyto úpravy musely být odstraněny nebo upraveny tak, aby spojení jednotlivých dílů bylo bez mezer a výsledný model odpovídal zásadám pro simulaci v daném programu. V opačném případě by software s tímto modelem nedokázal pracovat.

Ve výpočtovém modelu nejsou zahrnuty některé komponenty, které mají sice vliv na vlastní rezonanční frekvence kabiny, jako například skla, dveře, ochranné rámy atd., ale vytvoření některých těchto komponent s reálnými vlastnostmi

by bylo prakticky nemožné nebo by došlo ke vzniku neúměrných nároků na hardware počítače. Z tohoto důvodu nebudou vypočtené frekvence úplně přesné, oproti skutečnosti budou poněkud zkreslené, ale i tak nás dokážou dostatečně informovat o rezonančních vlastnostech kabiny. Po provedení těchto úprav byly provedeny simulace modální analýzy. Pro úplnost jsou uvedeny první čtyři vlastní frekvence kabiny stroje:

- mód 1 22,39 Hz $\approx$ 1340 min⁻¹
- mód 2 27,86 Hz $\approx$ 1670 min⁻¹
- mód 3 54,35 Hz $\approx$ 3260 min⁻¹
- mód 4 70,71 Hz $\approx$ 4240 min⁻¹

Jak je dle výsledků zjevné, stroj je provozován v oblasti vlastních rezonančních frekvencí kabiny. Znázornění chování kabiny při rezonančních módech je uvedeno na obrázcích č. 6 a 7. Tvary kmitů jsou u módu 1 ÷ 3 velmi podobné, proto pro představu o chování kabiny při rezonanci stačí uvést pouze jeden obrázek.

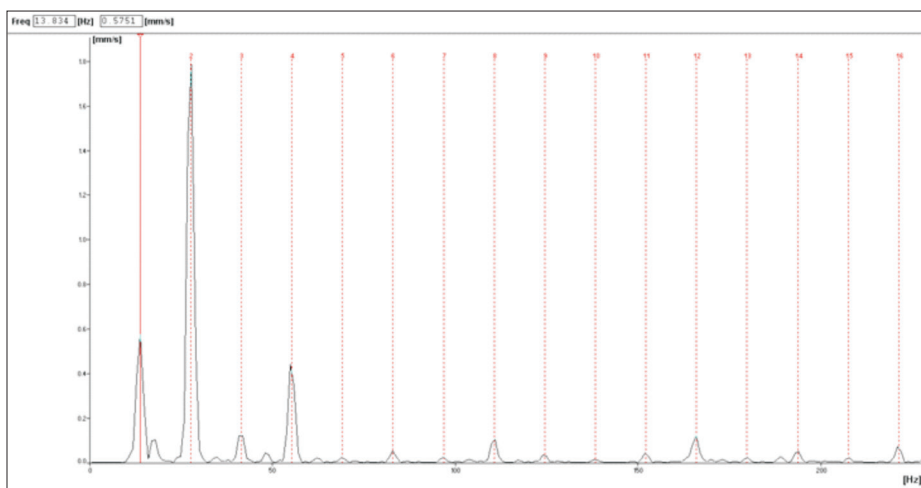
Pokud rozebereme problematiku hlouběji a uvědomíme si, že kabina je ve spektru vibrací buzena i druhou harmonickou složkou (viz obrázky č. 3 a 4), zjistíme, že otáčky, při kterých se již může projevit vznik rezonance, jsou o polovinu menší. Proto můžeme dosáhnout jednotlivých módů již mnohem dříve. Po přepočtu docházíme k následujícím hodnotám frekvencí a otáček:

- posunutý mód 1 11,2 Hz $\approx$ 670 min⁻¹
- posunutý mód 2 13,93 Hz $\approx$ 720 min⁻¹
- posunutý mód 3 27,18 Hz $\approx$ 1630 min⁻¹
- posunutý mód 4 35,36 Hz $\approx$ 2120 min⁻¹

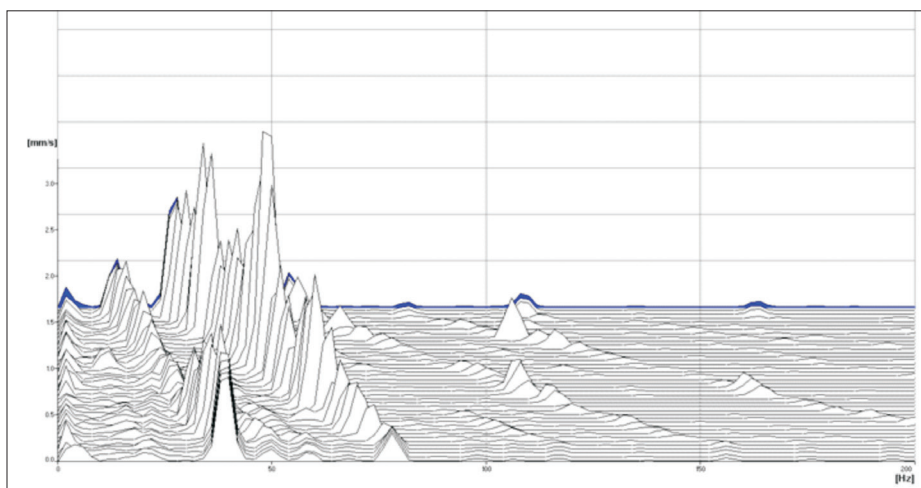
Výsledkem je tedy možnost teoretického vzniku až 6 rezonancí v rozsahu otáček motoru. Vznik a projev na konstrukci kabiny je ale závislý na několika činitelích a jejich vzájemné kombinaci. Je třeba brát v úvahu, že kabina je umístěna na 4 silentblocích, přes které se přenáší rozdílná spektra s různou



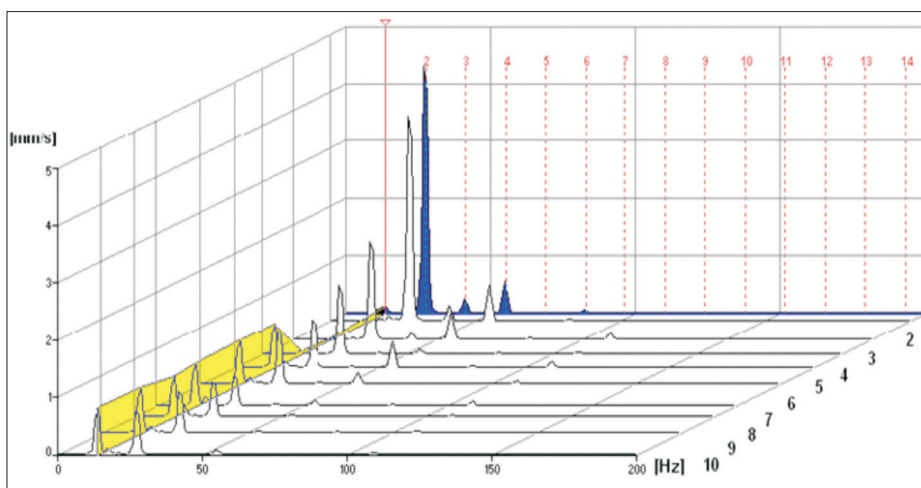
Obr. 2: Měřicí místa úchyty kabiny a rámu



Obr. 3: Spektrum amplitud vibrací na úchytu kabiny, první amplituda je na otáčkové frekvenci 1,8 Hz (830 min^{-1})



Obr. 4: Spektrum rozběhu kabiny pravé strany

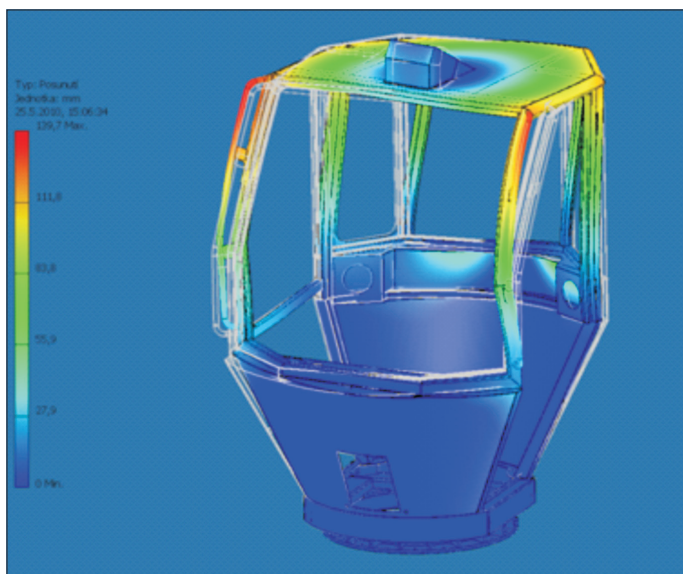


Obr. 5: Spektrum amplitud vibrací bodů na levé straně kabiny

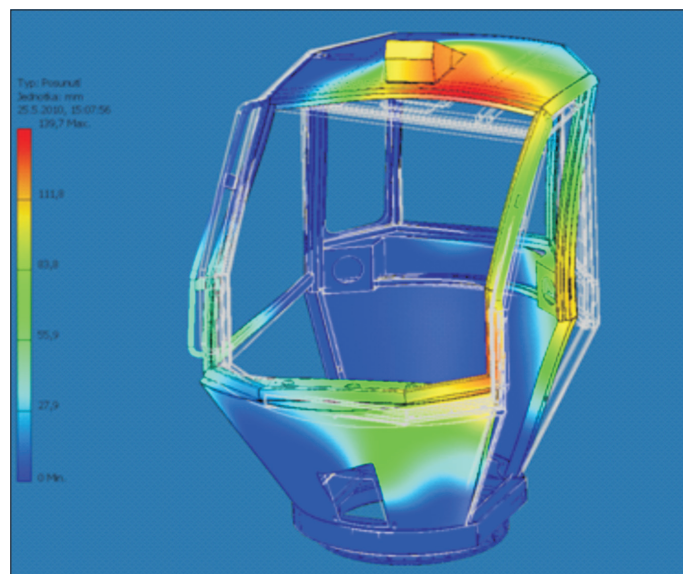
velikostí vibrací. Někdy je kabina buzena převážně otáčkovou složkou, jindy zase jejím násobkem (druhou harmonickou). To vše také závisí na silentblocích, na jejich útlumové charakteristice, na otáčkách, tuhosti konstrukce apod.

Je třeba si také povšimnout neobvyklé blízkosti frekvence módu 2 a frekvence posunutého módu 3, rozdíl je naprosto

zanedbatelný. Z toho lze usuzovat, že v blízkosti těchto frekvencí dochází ke střetu dvou rezonančních módů a k jejich sčítání, což se ve výsledku projeví mnohem výraznějšími vibracemi ve spektru než u jiných módů. Výpočtově se tato hodnota kritických otáček přibližně rovná 1650 min^{-1} . Při rozboru obrázku č. 4, kde je záznam vibrací při rozběhu, nalezneme nejvyšší amplitudu na hodnotě 1470 min^{-1} . Srovnáním naměřené



Obr. 6: Mód 1÷3 zobrazující tvary kmitů kabiny [1]



Obr. 7: Mód 4 [1]

a vypočtené hodnoty otáček s nejvyšší hodnotou vibrací dojdeme k závěru, že tyto hodnoty otáček si jsou velmi podobné s rozdílem cca 180 min^{-1} . Můžeme tedy konstatovat, že špičku ve spektru rozběhu na hodnotě 1470 min^{-1} způsobila kombinace posunutého módu 3 a módu 2.

Budeme-li procházet naměřené spektrum rozběhu dále, můžeme přisoudit druhou nejvyšší špičku ve spektru, která vzniká při otáčkách 1050 min^{-1} , otáčkovému módu 1. Rozdíl mezi skutečností a výpočtem je tentokrát 290 min^{-1} . Zbývá ještě přisouzení poslední špičky ve spektru, která se nachází na hodnotě 1800 min^{-1} , posunutému módu 4. Tím jsou vyčerpány všechny možnosti, protože posunuté módy 1 a 2 se ve spektru nemůžou nacházet, jsou totiž překonány již při startu stroje, resp. při dosažení jeho volnoběžných otáček.

5 Závěr

Za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2010 a po provedení modální analýzy v tomto programu byly zjištěny vlastní rezonanční frekvence kabiny, které se s mírnými odchylkami shodují se skutečností. Po provedení rozborů bylo zjištěno, že kabina stroje je provozována v několika rezonančních oblastech, což je nevyhovující stav způsobující neúměrné vibrace. Aby se zamezilo vzniku rezonance kabiny, byla by nutná kompletní přestavba této kabiny, včetně jejího uložení. Tato přestavba by ovšem vyžadovala nemalé finanční investice. Požadavkem firmy však bylo navrhnout co možná nejmenší nákladná řešení pro zlepšení současného stavu.

Prvním a současně nejjednodušším návrhem je výměna stávajících silentbloků kabiny - Contitech 212706 - za nový typ - Contitech 210470 - s větší tvrdostí a s lepší útlumovou charakteristikou při vyšších frekvencích. Rozměrově jsou tyto silentbloky velmi podobné a po provedení minimálních konstrukčních úprav je lze zaměnit.

Dalším návrhem pro zlepšení současného stavu je sada jednotlivých jednoduchých konstrukčních úprav, které mají za cíl posunutí rezonanční frekvence mimo pracovní oblast (1450 min^{-1}). Tyto úpravy musí vytlačit rezonanční mód 2

a posunutý mód 3 mimo pracovní oblast a současně se nesmí do této oblasti přesunout rezonanční mód 1. Mezi navrhované konstrukční úpravy patří například přidání výztuhy zadní stěny, výztuhy horní části kabiny, úpravy zadních sloupků kabiny apod. Tyto úpravy mají podle nových simulací zajistit vhodné posunutí rezonančních frekvencí mimo pracovní oblast. O jejich správnosti se budeme moci přesvědčit teprve po jejich aplikaci.

Při příštích návrzích nové konstrukce kabiny i jiných strojních zařízeních je ale třeba brát zřetel na možnost vzniku rezonancí, a vhodnými konstrukčními úpravami docílit posunutí rezonancí mimo rozsah otáček stroje. V opačném případě se při zanedbání těchto zásad vystavujeme riziku špatného konstrukčního uspořádání a vzniku následných rezonancí v pracovním rozsahu stroje, což nám dodatečně způsobí nemalé komplikace.

Literatura

- [1] KRISTEN J.: *Optimalizace konstrukce kabiny lesního vyvážecího stroje*. Ostrava, 2010. 60 s. Diplomová práce na Fakultě strojní VŠB - Technické univerzity Ostrava na katedře výrobních strojů a konstruování. Vedoucí diplomové práce Jan Blata.