

HLUK ELEKTRICKÝCH STROJŮ TOČIVÝCH

Ing. Bohumír Madejewski, CSc.

Výzkumný ústav elektrických strojů, Brno, a.s.

Mostecká 26, 657 65 Brno

1. ÚVOD

Elektrické točivé stroje jsou v současnosti nejpoužívanější pohonnou jednotkou strojních zařízení v průmyslu, dopravě, stavebnictví i zemědělství. Kromě toho se běžně užívají i v nevýrobních sférách - v domácnosti, školách, úřadech. Nejrůznější použití těchto strojů je dáno jejich technickými parametry, z nichž rozhodující je především typ stroje (tj. asynchronní, synchronní, stejnosměrný), dále jejich výkon, otáčky i způsob chlazení. K parazitním jevům v těchto strojích patří mimo jiné právě jejich hluk. V celém širokém sortimentu vyráběných elektrických točivých strojů je nutno hledat společné zdroje a příčiny jejich nadměrného hluku, abychom byli schopni komplexně řešit otázku jeho snižování.

2. HLUK ELEKTRICKÉHO STROJE

Z analýzy hluku točivého elektrického stroje vyplývá, že jeho celkový hluk je tvořen superpozicí tří základních složek, jimiž jsou :

- hluk elektromagnetického původu
- hluk ventilačního původu
- hluk mechanického původu

Hluk elektromagnetického původu je nejtypičtější složkou hluku elektrického stroje. Jeho příčinou je kmitání kostry, případně jiných částí stroje, způsobené elektromagnetickými silami. Frekvenční spektrum hluku elektromagnetického původu je diskrétního charakteru a zároveň se v mnohých případech vyskytuje značně výrazná směrová charakteristika vyzařování této složky. Zjišťování existence této složky v celkovém hluku elektrického stroje se často jednoduše provádí tak, že po vypnutí stroje od sítě je sledován pokles akustického signálu v čase. Je-li tento pokles okamžitý, jedná se zcela evidentně o složku hluku elektromagnetického původu. Jiný způsob vyšetřování elektromagnetického hluku je měření frekvenčního spektra pro různé hodnoty napájecího napětí, případně i kmitočtu.

Hluk ventilačního původu je rozhodující především u strojů s vysokým počtem otáček. Podrobná analýza ventilačního hluku ukazuje, že hlavním zdrojem je v tomto případě samotný ventilátor se svým nejbližším okolím. Právě ten převyšuje rozhodujícím způsobem ostatní zdroje hluku ventilačního původu, jimiž mohou být například rotorová křidélka, radiální případně axiální

chladičící kanály ve stroji, vstupní a výstupní kryty a pod. Frekvenční analýza hluku ventilačního původu ukazuje, že spektrum má buď charakter širokopásmový nebo naopak diskretní. V prvním případě jde o aerodynamický hluk, který vzniká turbulentním prouděním vzduchu v lopatkových kanálech a v blízkosti vstupní, ale hlavně výstupní hrany lopatek.

Tyto pulsace jsou nerovnoměrné jak v prostorovém, tak v časovém uspořádání, takže vyzařované frekvenční spektrum aerodynamického hluku je širokopásmové a obsahuje složky celého slyšitelného pásma.

Naproti tomu diskretní charakter spektra, mluvíme někdy o sirénovém jevu, může vzniknout tehdy, jsou-li před ventilátorem nebo za ním překážky, např. ve formě rozváděcích lopatek, žaluzií a p. Díky těmto překážkám není rychlostní profil vzdušného toku rovnoměrný po celém obvodu kola, což vede k periodickým pulsacím tlaku; ty potom způsobují hluk sirénového charakteru.

Hluk mechanického původu je působen především valivými ložisky a dále nevyváhou všech rotujících částí stroje. Valivá ložiska mohou vytvářet řadu frekvenčních složek, které mají svůj původ především v nerovnosti valivých částí i samotných drah na kroužcích ložiska. V zásadě lze říci, že hluk mechanického původu má smíšený charakter.

2.1. Hluk elektromagnetického původu

Princip hluku resp. kmitání elektromagnetického původu u elektrického stroje lze vysvětlit následujícím způsobem. Působením magnetické indukce ve vzduchové mezeře vznikají tahové magnetické síly, které mohou mít různý směr, amplitudu a frekvenci a které jsou rozloženy na povrchu statoru a rotoru. Jejich charakteristika závisí na geometrii vzduchové mezery, na velikosti syčení a řadě dalších faktorů.

Magnetická indukce ve vzduchové mezeře B se skládá ze základní harmonické B_1 a vyšších harmonických pole B_i , způsobených řadou odlišných příčin a svázaných jak se státorem B_s , tak i s rotorem B_r . Lze tedy obecně pro magnetickou indukci elektrického stroje psát

$$B(x,t) = B_1(x,t) + \sum B_s(x,t) + \sum B_r(x,t)$$

kde x je prostorová souřadnice, t je čas, $S = 6i+1$, $i = -+1, -+2, \dots$, $R = j(z_2/p) + 1$, $j = -+1, -+2, \dots$, z_2 je počet drážek rotoru, p je počet pólpárů.

Radiální magnetické síly se potom určují pomocí výrazu

$$F_{rad}(x,t) = B^2(x,t)/2\mu$$

kde μ je magnetická permeabilita vzduchu.

Uvedené síly obsahují složky nejrůznějších řádů, frekvencí a amplitud. Vysokofrekvenční složky radiálních magnetických sil způsobují elektromagnetické kmitání a hluk a složky nízkofrekvenční především elektromagnetické kmitání.

Vysokofrekvenční složky závisí na hodnotě indukce B_s a B_r , které jsou pochopitelně výrazně ovlivňovány konstrukčními a technologickými faktory. V zásadě se rozlišují harmonické způsobené vinutím a harmonické od drážek a dále harmonické složky způsobené sycením a excentricitou.

Výše uvedené magnetické radiální síly se vyskytují u asynchronních a synchronních strojů. U nich kromě radiálních sil vznikají i tangenciální síly, mající stejnou frekvenci a řád jako síly radiální. Tangenciální síly však ve většině případů co do amplitudy jsou menší než radiální síly. Je třeba s nimi počítat u mikromotorků a jednofázových asynchronních motorů.

Ve strojích stejnosměrných vznikají kromě radiálních sil i vibrační momenty působící na pól stroje. Frekvence těchto momentů jsou rovny frekvencím radiálních elektromagnetických sil ve stroji.

Vliv magnetostrikčních sil u točivých elektrických strojů není obvykle třeba brát v úvahu. Tyto síly mají rozhodující význam při vzniku hluku v transformátorech a jejich frekvence je rovna dvojnásobku frekvence napájecí sítě.

Pro vlastní vznik hluku elektromagnetického původu je přijímán následující fyzikálně opodstatněný model, platný především pro asynchronní motory. V tomto modelu existuje pružná vazba mezi statorovým prstencem a kostrou stroje a dále mezi kostrou stroje a jeho základem. Tato vazba je pochopitelně odlišná od vazby prvního typu. Analýza tohoto mechanického modelu, složeného z výše popsaných částí, vede k výsledku, že každý řád kmitání elektromagnetického původu vybudí několik různých kmitočtů, z nichž jeden může být blízko vypočítané hodnoty vlastní frekvence. Přitom přesný výpočet vlastních kmitočtů celého stroje podle uvedeného modelu je velmi obtížný a bez použití počítače neproveditelný.

Základní požadavek na bezhlučný motor je ten, že nesmí nastat rezonance mezi kmitočty elektromagnetických budících sil s vlastním kmitočtem statorového prstence. Tyto podmínky není třeba respektovat pro vysoké řády kmitání - např. $r = 6$, neboť síly zde působí na příliš krátkém rameni a mají navíc i velmi nízkou amplitudu.

Vypracované metodiky výpočtu na základě takto přijatého modelu umožňují analyzovat různé varianty konstrukčního řešení s cílem vybrat tu nejvhodnější z hlediska hluku a kmitání. Přesnost používaných metod však není dostatečná. Způsobují to nejistoty ve výpočtu elektromagnetických sil vyšších řádů, nepřesný popis některých fyzikálních dějů v uvedeném modelu ale hlavně vliv tolerance technologických faktorů.

2.2. Hluk ventilačního původu

Ventilační hluk elektrického stroje lze rozdělit obecně na dvě části:

- první představuje hluk nezbytný, který je doprovodným jevem funkce každého strojního zařízení
- druhou je hluk nadměrný, který lze vhodnými úpravami snížit

Ventilační hluk je přitom rozhodující u strojů s vysokým počtem otáček. Vzrůst ventilačního hluku strojů se projevuje rovněž v závislosti se stále rostoucím využíváním aktivních materiálů ve stroji, což vyžaduje úměrně zvyšovat i množství potřebného chladicího vzduchu.

Hlavním zdrojem ventilačního hluku, jak již bylo uvedeno, je samotný ventilátor se svým nejbližším okolím. Často se však na ventilačním hluku podílí i další konstrukční části stroje.

Ve frekvenčním spektru ventilačního hluku lze rozlišit širokopásmový hluk působený turbulentním prouděním vzduchu v lopatkových kanálech ventilátoru a sirénové jevy, které jsou výhradně diskretního charakteru a souvisí s nevhodným konstrukčním uspořádáním chladicího systému stroje.

Teoretické základy vysvětlující přeměnu části kinetické energie turbulentního proudu plynu na energii akustickou byly položeny na začátku šedesátých let. Vycházelo se přitom ze základních fyzikálních zákonů, z nichž pak byl odvozen principiální tvar vlnové rovnice platný pro vyzařování zvuku do neohrazeného prostoru. Tato vlnová rovnice obsahuje na své pravé straně tvar zdrojové funkce, odpovídající vyzařování akustického čtyřpólu.

V případě, že uvažovaná turbulentní oblast plynu se dotýká pevné hranice (a tou je např. lopatka ventilátoru), byl potom na základě zjednodušujících předpokladů odvozen vztah právě pro tento typ vyzařování. Zjednodušujícími předpoklady rozumíme dostatečně tuhou hraniční plochu, dostatečnou vzdálenost pozorovatele od uvažované turbulentní oblasti plynu a zároveň, že tato vzdálenost je nesrovnatelně větší než kterýkoliv z rozměrů turbulentní oblasti plynu.

Za těchto podmínek dochází ke dvojímu typu vyzařování. Prvním typem je již dříve uvedené vyzařování objemově rozdělenými akustickými čtyřpóly a druhým typem je vyzařování akustickými dipóly, působenými fluktuacemi tlaku na hraniční ploše.

Teorie vyzařování akustické energie ventilátoru je založena právě na dipólovém charakteru tohoto vyzařování. Obecný vztah pro akustický výkon je uváděn v tomto případě ve tvaru

$$P = \sigma / c^3 U^6 D_2^2 f (Re, Sh^2, z, K)$$

kde P je akustický výkon, σ je hustota prostředí, c je rychlost šíření zvuku, U je rychlost turbulentního pohybu plynu, D_2 je hlavní charakteristický rozměr ventilátoru a konečně f značí obecnou funkci řady parametrů; Re je Reynoldsovo číslo, Sh je Strouhalovo číslo, z je počet lopatek ventilátoru a parametr K vyjadřuje obecně geometrii ventilátoru.

Pro širokopásmový hluk ventilátorového uzlu elektrického stroje se uvádí výše prezentovaný vztah v mírně modifikované formě, postihující lépe charakteristické konstrukční řešení uzlu. Tento vztah pro hladinu zvuku L_A ve vzdálenosti 1m od obrysu stroje má tvar

$$L_A = 60 \log U_2 + 10 \log D_2 b_2 + \sum k_1$$

kde U_2 je vnější obvodová rychlost ventilátoru v ms^{-1} , D_2 je vnější průměr ventilátoru v m, b_2 je šířka ventilátoru v m a konečně k_1 konstanty, zahrnující jednotlivé korekce; k_1 je korekce na množství chladicího vzduchu, která pro $Q=0.5Q_{\max}$ činí $k_1=2,7$ dB, korekce na geometrii konstrukce ventilátoru $k_2=10-24.7D_2$, k_3 je korekce na úhel vstupu vzduchu do ventilátoru (pro radiální ventilátor je $k_3=1\text{dB}$) a konečně k_4 je korekce na úhel výstupu a pro radiální lopatky je k_4 rovno nule. Podle tohoto vztahu lze stanovit hodnotu širokopásmového ventilačního hluku elektrického stroje.

Příčinou vzniku a vyzařování sirénového zvuku je v podstatě nerovnoměrné rozdělení rychlosti proudění vzduchu za překážkou, o čemž rozhoduje konstrukční návrh. Velikost sirénových jevů a jejich frekvence pak závisí při dané rychlosti otáčení především na následujících faktorech:

- vzájemný poměr rotujících a stojících částí s přihlédnutím na symetrii jejich rozmístění po obvodu rotující části
- vzdálenost rotujících a stojících částí
- množství dopravovaného chladicího vzduchu

Při analýze prvního z uvedených faktorů vycházíme z uspořádání zdrojů hluku dipólového charakteru a to namísto jednotlivých lopatek ventilátoru i uvažovaných stacionárních překážek. Další důležitý předpoklad je ten, že jednotlivé akustické dipóly jsou navzájem koherentní zdroje zvuku. Počítáme-li potom akustický tlak v jistém bodě volného akustického pole, bude tento dán součtem jednotlivých dílčích akustických tlaků a to s ohledem na jejich vzájemný fázový posun. V případě poměru stojících a rotujících dipólů vyplývají potom dva extrémní případy. V prvním odvozený výraz nabývá minimální hodnoty pro počet překážek rovný nule a nedochází tudíž k sirénovým jevům. Ve druhém případě nabývá výraz maximální hodnoty při rovnosti stojících a rotujících překážek.

Z této teorie ověřené experimentem existují hodnoty doporučených poměrů, které je nutno dodržovat z pohledu minima vyzařovaného sirénového hluku. Základní harmonická sirénových jevů se určuje přitom pomocí výrazu

$$f_1 = \frac{z}{60} (nz/60)$$

kde z je případný možný vyšší řád harmonické, n jsou otáčky v min^{-1} a z je počet překážek.

Vliv vzdálenosti stojících a rotujících částí je z hlediska konstrukčního řešení nejdůležitějším faktorem. Rychlostní profil se mění se vzdáleností od rotující části, přičemž v těsné

blízkosti jsou rozdíly rychlosti největší a klesají pak s rostoucí vzdáleností. Experimentální výsledky uváděné v literatuře říkají, že vzdálenost mezi stojící a rotující částí nemá být menší než je hodnota plynoucí z empirického vztahu

$$a = U^2 / 30$$

kde U je obvodová rychlost rotující části v ms^{-1} a veličina označená a je doporučovaná vzdálenost v mm. Jiná kritéria uvádí, že vzdálenost mezi stojící a rotující částí má být nejméně 10 až 15 procent průměru rotující části. Dále je třeba zdůraznit, že v případě, že stojící část nemůže být z konstrukčních důvodů dále od rotující části než uvádí daná mez, měly by být tyto části alespoň dostatečně hladké a zaoblené.

Vliv dopravovaného množství chladicího vzduchu na velikost sirénových jevů souvisí se vzájemnou vazbou základních konstrukčních parametrů ventilačního systému, tj. především vnějšího průměru ventilátoru a vnější obvodové rychlosti s hodnotami dosahovaného průtočného množství chladicího vzduchu a tlaku vzduchu. Pro různé hodnoty těchto veličin lze pomocí bezrozměrného vyjádření provést přepočty příslušné vyzařované hodnoty hladiny hluku. Tato skutečnost byla ověřena měřeními na modelovém zařízení radiálních chladicích kanálů.

2.3. Hluk mechanického původu

Příčinou hluku mechanického původu u elektrických strojů jsou především ložiska, resp. ložiskový uzel stroje, nevývaha rotujících částí a u stejnosměrných strojů hluk kartáčů.

Při provozu valivého ložiska vedou jednotlivé lokální vady valivých drah či valivých tělísek, popř. nečistoty maziva k buzení periodických posloupaností silových impulzů, které mohou být navíc amplitudově modulovány. V kmítočtové oblasti se takové kombinace jeví jako diskretní spektrum, v němž se kolem základních kmítočtů vytvářejí skupiny kmítočtů postranních pásem.

Ve stroji se může ložisko se zvýšeným kmitáním stát zdrojem sil budících okolní struktury. Konstrukční díly sousedící s ložiskem, zvláště ložiskové štíty, se pak mnohdy stávají zdrojem silné sekundární emise zvuku. Tento jev může být obzvláště pronikavý v případech, kdy se vlastní kmítočty ložiskových štítů blíží kmítočtovým pásmům, na nichž ložiska vyzařují maximum své kmitavé energie.

Znalost modelu signálu a kmitavých vlastností ložiska a ložiskového štítu umožňuje usuzovat na možné příčiny zvýšeného kmitání a následného vyzařování hluku elektrického stroje. I v ideálním ložisku, jehož jednotlivé prvky nemají žádné odchylky od přesných tvarů, vznikají budící síly kmitání. U radiálně zatíženého ložiska pak vzniká periodický kmitavý pohyb kolem otáčející se osy vlivem průchoodu soustavy valivých tělísek. Další příčinou buzení zvuku spočívá ve třecích dějích mezi zatíženými valivými tělísky a oběžnými hranami. Ke vzniku přispívají rázové a třecí děje mezi klecí a valivými tělísky.

Děje tohoto druhu mají převážně náhodný charakter a vedou ke kmitočtově nezávislému buzení zvuku, majícímu širokopásmový charakter.

V reálném ložisku přistupují k budícím mechanickým příčinám ideálního ložiska další příčiny zvuku. Hlavními jsou odchylky tvaru jednotlivých ložiskových dílů od ideální konstrukční geometrie. Vlivem současné vysoké úrovně seriové výroby jsou tyto odchylky udržovány v úzkých tolerancích. Velký vliv na vyzařovaný hluk má rovněž řádná montáž použitého ložiska.

Za nejdůležitější faktory ovlivňující hluk ložiska v elektrickém stroji lze považovat:

- řádný výběr ložiska daného typu (při seriovém použití se doporučuje provádět statistickou přejímku),
- samotná výroba ložiska a jeho následná montáž,
- hladkost povrchu vnějšího a vnitřního kroužku ložiska, řádná geometrie kuliček ložiska,
- řádné mazání ložiska.

Nevývaha rotujících částí stroje je bezpodmínečnou podmínkou jeho řádné funkce. Je nutno kontrolovat velikost kmitání motoru, které znamená nepřímo i dostatečně nízkou hladinu zvuku mechanického původu.

Za hluk mechanického původu považujeme i hluk kartáčů. Ten je určován celou řadou dílčích faktorů, z nichž nejdůležitější jsou následující:

- konstrukce a pevnost držáku kartáčů,
- tlak na kartáč,
- materiál kartáče a komutátoru,
- tvarová tolerance komutátoru,
- čistota kontaktu mezi kartáčem a komutátorem,
- proudové zatížení kartáče,
- povrchová teplota komutátoru,
- případné deformace na povrchu komutátoru.

3. SNIŽOVÁNÍ HLUKU ELEKTRICKÝCH STROJU

V technické praxi rozeznáváme dva základní způsoby snižování hluku strojních zařízení:

- primární způsob, tj. snižování hluku přímo v jeho zdroji ve stroji samotném,
- sekundární způsob, tj. pohlcování již vyzářené akustické energie a její přeměna v jiný druh energie,

První způsob je pochopitelně efektivnější, řeší samotnou podstatu problému. Při jeho aplikování nutno zvažovat, z jakých dílčích složek se skládá celkový hluk strojního zařízení a snížení které z těchto složek bude představovat výrazné snížení jeho celkového hluku. V případě elektrického točivého stroje jsou tyto dílčí složky hluku tři, jak bylo již dříve uvedeno. Základní principy, které je nutno dodržovat při potlačování či úplném odstranění jednotlivých složek hluku, jsou následující:

1. Elektromagnetická složka hluku

- řád elektromagnetické silové vlny stroje, závisející na poměru počtu drážek rotoru a statoru, je nutno volit pokud možno co nejvyšší,
- frekvence silových magnetických vln všech řádů musí být dostatečně odlišné od vlastních frekvencí kmitání zvláště statorového svazku a kostry,
- volit doporučený poměr statorových a rotorových drážek,
- volit minimální indukci ve vzduchové mezeře,
- volit maximální vzduchovou mezeru,
- podle možnosti používat magnetické klíny,
- minimalizovat excentricitu vzduchové mezery,
- používat maximální počet drážek na pól a fázi,
- používat dvojvrstvé vinutí,
- používat zešíkmení drážky o jednu drážkovou rozteč,
- používat dostatečně tuhou konstrukci motoru té části, která je vystavena vlivu elektromagnetických sil,
- pro stejnosměrné motory používat zkosení pólového nástavce,
- používat nerovnoměrnou vzduchovou mezeru pod póly,
- dbát na symetrii vzduchové mezery a celého magnetického obvodu.

2. Ventilační složka hluku

- použít minimálního potřebného množství chladícího vzduchu pro ventilaci stroje (vyhnout se předimenzování ventilačního systému),
- vyhýbat se vzniku sirénových jevů dodržováním doporučených hodnot pro vzdálenost mezi stojící a rotující částí,
- volit optimální počet lopatek ventilátoru,
- zabránit rezonančním jevům krytu ventilátoru,

3. Mechanická složka hluku

- volit rozměr ložiska takový, aby byl minimální vzhledem ke kladeným požadavkům,
- za stejných podmínek jsou válečková ložiska hlučnější než kuličková,
- třída přesnosti ložiska se projevuje především na nízkých frekvencích,
- volit radiální mezeru ložiskového štítu tak, aby se minimálně uplatnil negativní vliv teploty a zatížení,
- dodržovat geometrii a tolerance dílců ložiskového uzlu,
- použít axiální pružinu pro montáž ložiska,
- aplikovat správné mazání ložiska,
- montáž ložiska provádět předepsaným technologickým postupem.

Druhý způsob snižování hluku je přeměna zvukové energie na jiný druh energie, nejčastěji na energii tepelnou. Dochází k tomu trojím způsobem:

- třením vzduchových částic při proudění póry pohltivého materiálu,
- snížením potenciální energie zvukové vlny (výměna tepla mezi vzduchem a pohltivým materiálem),
- nepružnou deformací tělesa.

Pro charakterizování dějů pohlcování zvuku zavádíme následující veličiny:

- koeficient zvukové pohltivosti $\alpha = I_p/I_{dop}$
- koeficient zvukové odrazivosti $\beta = I_{odr}/I_{dop}$
- koeficient zvukové propustnosti $\tau = I_{pr}/I_{dop}$

kde I je akustická intenzita a index p značí její pohlcenou hodnotu, dop hodnotu dopadající, odr hodnotu odraženou a pr hodnotu prošlou daným konstrukčním uspořádáním. Podle zákona o zachování energie je zřejmé, že mezi uvedenými veličinami musí platit vztah

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

Přitom hodnota $\tau = 10^{-5}$ až 10^{-3} a veličiny α , $\beta = 10^{-2}$ až 10^{-2} hovoří jasně o tom, že v reálných úvahách pracujeme s posledními dvěma. Všechny tyto veličiny jsou pochopitelně frekvenčně závislé. Kromě toho je činitel zvukové pohltivosti závislý na směru dopadu zvukové vlny a rozeznáváme z tohoto pohledu jeho velikost pro kolmý a pro všesměrový dopad.

Tlumiče hluku ventilačního původu jsou nejrůznějších provedení hlavně podle toho, jaké jsou kladeny požadavky na jejich vložný útlum. Často se u nich uplatňuje stavebnicová konstrukce.

4. NORMALIZAČNÍ ČINNOST

Požadavky na každé strojní zařízení z hlediska hluku se udávají v běžném systému veličin a informačních údajů. Síře uvedených problémů vyvolává potřebu jednotného systému měření a prezentace výsledků měření, týkajících se příslušných zdrojů hluku. Mezinárodní normalizace měřicích postupů je tedy nezbytná a nutná.

Z pohledu problematiky řešení obsaženého v těchto normách lze tuto rozdělit do dvou oblastí. První si všímá zdrojů hluku a jejich charakteristik - mluvíme o emisi akustické energie. Ta vyhovuje potřebám technické práce a technickému normování metod měření hluku.

Druhá oblast se zabývá problémem spojeným s působením akustických polí na osoby v nich se nacházející - mluvíme o akustické imisi. Odtud bezprostředně vyplývají hodnoty přípustné hlukové expozice, obecně stanovené např. v Hygienických předpisech. Obě oblasti normalizační činnosti se upřesňují a sjednocují v nutných detailech, veličinách a dalších informacích. Dosavadní zkušenosti potvrzují správnost tohoto koncepčního řešení.

Pro elektrické točivé stroje platí pro měření hluku dvě základní normy:

ČSN EN 21680-1 Akustika. Měření hluku vyzařovaného do vzduchu točivými elektrickými stroji. Část 1: Technická metoda měření ve volném zvukovém poli nad rovinou odražející zvuk.

ČSN EN 21680-2 Akustika. Zkušební předpis pro měření hluku šířeného vzduchem vyzařovaného točivými elektrickými stroji. Část 2: Provozní metoda.

Obě normy podrobně uvádějí:

- rozsah a oblast použití,
- definice jednotek,
- popis akustického prostředí,
- použité přístroje,
- instalace a provoz stroje,
- rozmístění měřicích míst na měřicí ploše,
- způsob výpočtu výsledné hladiny akustického výkonu,
- údaje, které musí být uvedeny v protokolu,

Příloha A uvádí postup hodnocení akustického prostředí,

Příloha B postup při výpočtu A-vážené hladiny výkonu,

Příloha C stanoví metodu určení rozdílu mezi hladinou zvuku při chodu naprázdno a při zatížení,

Dovolené - imisní - hladiny hluku elektrických strojů jsou potom obsaženy v ČSN IEC 34-9: Točivé elektrické stroje část 9. Přípustné hodnoty hluku.

Tato norma uvádí:

- rozsah a předmět normy,
- odkazy na ostatní normy,
- názvy a definice použitých veličin,
- metody měření,
- zkušební podmínky,
- přípustné hodnoty hluku.

Tabulka přípustných hodnot hluku, což je vlastně nejdůležitější část normy, pak přehledně uvádí tyto hodnoty v závislosti na výkonu stroje, jeho otáčkách a způsobu krytí. To potom dovoluje normalizované hodnocení hluku strojů podle maximálních přípustných hladin akustického výkonu a tím posouzení kvality těchto strojů.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Hamata V.: Hluk elektrických strojů, Academia 1987
- [2] Šubov I.G.: Šum a vibrace elektrických strojů, Energoatomizdat, Leningrad 1986
- [3] Judin E.J.: Boj s hlukem v průmyslu, Spravočnik, Moskva Mašinostrojenie 1985
- [4] Yang S.J.: Law-noise electrical motors, Clarendon Press-Oxford, 1981
- [5] Timár P.L.: Noise and vibration of electrical machines, Akademiai Kiado, Budapest 1989