

KVALITA ZVUKU AUTOMOBILOV

Meranie vo vozidle pomocou mikrofónu



Kvalita zvuku podporuje pozitívne vnímanie auta a stala sa dôležitou súčasťou jeho kvality. Kvalitný zvuk, podobne ako hudba, vyvoláva pozitívne emócie a môže tak účinnevať pôžitok a radosť z jazdy. Vhodný zvuk a vibrácie môžu tiež sprostredkovať informáciu o funkcii, nebezpečenstve, prostredí. To sa často využíva aj pri rôznych asistenčných systémoch, ktoré bývajú doplnené rôznymi zvukovými, či haptickými signalizáciami, ako je napr. udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu a pod. Kvalita zvuku sa stáva prioritou pri riešení interiéru osobných automobilov, a to už nielen pri tradičných prémiových značkách vozidiel.

Pri cieľavedomom riešení zvukového dizajnu sa aspekty kvality zvuku stávajú kľúčovým faktorom už v skorých štádiách vývoja produktu. Aplikujú sa pri tom rôzne moderné výpočtové a experimentálne metódy. Samozrejme, to je spojené i s rastom nákladov na vývoj, použité technológie, materiály a pod. Špecifický zvukový dizajn však umožňuje jedinečné vnímanie značky, kvality, či charakteru vozidla. Okrem výrazného zlepšenia kvality zvuku sa predpokladá i zlepšenie ovládateľnosti vozidla, jazdných vlastností. V tejto súvislosti sa často používa tiež pojem „kultivovanosť vozidla“. NVH vlastnosti (hluk, vibrácie) by však mali byť v rovnováhe i s ďalšími vlastnosťami vozidla, ako sú napr. moderný dizajn, bezpečnosť, tepelná pohoda, spoľahlivosť a pod.

Problémy s vnútorným vibroakustickým komfortom pri osobných automobiloch

Dominantné problémy z hľadiska riešenia zvuku v interiéri súvisia s motorom a hnacím mechanizmom (najmä pri automobiloch so vznetovým motorom), s hlukom odvalovania sa pneumatik, aerodynamickým hlukom, v kontexte s vibroakustickými a tiež aerodynamickými vlastnosťami karosérie. Rušenie hlukom spaľovacieho motora je významné skôr pri menších rýchlostiach automobilu (hluknosť vznetových motorov dominuje najmä pri voľnobehu, malých otáčkach a pri akcelerácii, pri zážihových motoroch je to zase pri akcelerácii a veľkých otáčkach). Pri rýchlostiach nad 50 km/h už začína byť významný hluk z odvalovania sa pneumatik. Aerodynamický hluk býva dominantný až pri rýchlostiach nad 100 km/h. Z frekvenčného hľadiska je buďenie hluku povrchom vozovky dominantné asi do 25 Hz, buďenie od hnacieho mechanizmu obvyčajne do 250 Hz a čo sa týka zvuku prenášaného vzduchom, ten je dominantný nad 400 Hz.

Z pohľadu kvality zvuku by tieto dominantné zdroje hluku mali byť navzájom vyvážené, s lineárnym rastom hluku pri raste rýchlostí alebo otáčok motora. Ďalej je tiež potrebné odstrániť, alebo aspoň potlačiť rôzne rušivé zvuky súvisiace napr. s brzdami, riadením, ovládacími prvkami a rôznym príslušenstvom (ventilátory, elektromotory, klimatizácia a pod.). Charakter zvuku by mal byť v súlade s charakterom vozidla, mal by umožňovať bezproblémovú komunikáciu členov posádky vozidla, vnímanie zvukovej signalizácie a pod.



Simulátor zvukov systému riadenia

Špecifiká akustických vlastností podľa druhu vozidiel a použitého motora

Zvukový prejav určitého druhu vozidla by mal zodpovedať očakávaniam zákazníkov orientujúcich sa na určité kategórie vozidiel. Športový, agresívny zvuk je teda očakávaný pri športových automobiloch a nie pri luxusných limuzinách. Väčšia hlučnosť športových vozidiel obvykle súvisí s použitým výkonným motorom, tlmáčom výfuku s menším útlmom (príp. s výfukovou klapkou), s tuhšou karosériou a tuhším nastavením podvozku, odľahčením karosérie, a to i v súvislosti s minimalizovaným použitím tlmiačich materiálov a pod. Luxusné vozidlá sú zamerané na maximálny komfort posádky, a teda patria z hľadiska hlučnosti medzi najtichšie vozidlá. Najviac rozšírené vozidlá, teda päťdverové hatchbacky, sedany a ich kombi verzie, obvykle predstavujú určitý kompromis medzi praktickosťou, výkonom, cenou. Preto aj ich NVH vlastností sú zväčša na priemernej úrovni. Všeobecne možno konštatovať, že kombi verzie vozidiel sú obvyčajne hlučnejšie ako verzie sedan, a to najmä v dôsledku väčšieho objemu interiéru vozidla, ako i plochy rôznych panelov, zasklenia a pod. Vyznačujú sa i väčším prenosom hluku a vibrácií od zadných kolies do interiéru vozidla, čo súvisí s menej účinným oddelením batožinového priestoru od priestoru pre posádku v porovnaní s verziami sedan. Pri terénnych vozidlách alebo i SUV automobiloch s pohonom všetkých štyroch kolies je tiež možné predpokladať vyššiu úroveň hlučnosti (hlavne pri vozidlách bezrámovej konštrukcie). Súvisí to najmä s menším kompaktným hnacím mechanizmom vozidla, obvykle horšou aerodynamikou, použitím terénnych pneumatík a pod. Spravidla väčšia svetlá výška týchto vozidiel prispieva i k väčšej vonkajšej hlučnosti, v dôsledku zväčšeného podielu odrazenej zvukovej energie mimo vozidla. Hlučnosť čoraz viac obľúbených vozidiel typu „crossover“ sa nachádza niekde medzi hlučnosťou vozidiel typu SUV a sedan. Uvedené špecifiká akustických vlastností rôznych druhov vozidiel sú len orientačné a približne zodpovedajú vozidlám rovnakého ročníka a cenovej kategórie.

Všetky skôr uvedené druhy vozidiel môžu byť dnes vybavené rôznymi prvkami s odlišnými vlastnosťami. To znamená, že do rovnakej karosérie môže byť zabudovaný buď spaľovací motor – zážihový alebo vznetový ako i kombinácia spaľovacieho motora a elektromotora pri hybridných vozidlách (pre čisto elektrické vozidlá výrobcovia dnes už obvykle používajú platformy špeciálne navrhnuté pre tento druh pohonu). V tejto súvislosti je teda potrebné zabezpečiť rôzne opatrenia na riešenie hlučnosti a akustického komfortu. Pre príslušný druh pohonu sa to rieši tzv. akustickým balíkom. Ten môže obsahovať napr. optimalizované lôžka uloženia príslušného motora, puzdra momentovej vzpery, riešenie deliacej pričky medzi motorovým priestorom a interiérom, rozdielne plastové kryty v motorovom priestore, inú hrúbku a umiestnenie tlmiačich nástrekov a fólií, použitie dynamických tlmáčov (vhodne zvolená, pružne uložená hmota), kobercov rôznej hrúbky ako i akustických vlastností, odlišných obložení strešného panelu, veka motorového priestoru, príp. i odlišné výplne dverí, plastové podbehy kolies, sedačky, odlišné čelné sklo a pod.

Objektívne hodnotenie kvality zvuku

Pre posúdenie kvality zvuku sa najlepšie osvedčili nasledovné parametre z oblasti psychoakustiky – hlasitosť, ostrosť, drsnosť, intenzita kolísania, tonalita, artikulačný index a pod.

Hlasitosť určitého zvuku je vlastnosť subjektívneho vnemu, ktorá vyjadruje ako silno pôsobí daný zvuk na normálny sluch a je funkciou intenzity, frekvencie, frekvenčného rozsahu a trvania zvuku. Hlasitosť podľa Zwickera ISO 532 B [son] veľmi dobre koreluje so subjektívnymi hodnoteniami a je dnes považovaná za najdôležitejší parameter v oblasti analýz kvality zvuku.

Ostrosť [acum] je definovaná ako pomer medzi hladinou vysokofrekvenčného hluku a celkovou hladinou. Ak zvuk obsahuje len vysoké frekvenčné zložky, ide o zvuk s veľkou ostrosťou. Všeobecne ide o rušivý, neprijemný zvuk, spájaný s nízkou úrovňou kvality vozidla.

Drsnosť [asper] kvantifikuje subjektívne vnímanie rýchlej (20 až 300 Hz) amplitúdovej modulácie zvuku.

Intenzita kolísania [vacil] kvantifikuje subjektívne vnímanie pomalej (do 20 Hz) amplitúdovej modulácie zvuku. Je vnímaná ako zmena tónu v čase, kým drsnosť už len ako drsný zvuk.

Tonalita je prítomnosť dominantných tónov vo zvuku, čo je obvyčajne spájané s nízkou úrovňou kvality zvuku.

Artikulačný index je miera vyjadrujúca pomer signálu reči ku šumu [%], vo frekvenčnom rozsahu bežnej konverzácie (500 až 4000) Hz, v interiéri vozidla. Stopercentný artikulačný index v interiéri vozidla indikuje perfektnú zrozumiteľnosť.



Meranie vo vozidle s využitím umelej hlavy

Subjektívne hodnotenie kvality zvuku

Zaznamenané zvuky sú v posluchovej miestnosti prezentované porote vytvorenej obvyčajne z neodborníkov v danej oblasti. Mali by v nej byť zastúpení muži i ženy rôznych vekových kategórií. Z hľadiska získania reprezentatívnych výsledkov musí mať porota primeraný počet členov. Porotcovia posudzujú a porovnávajú rôzne zvuky. Na základe toho je možné vytvoriť maticu, ako sú subjektívne vnímané rôzne vlastnosti zvuku. Ide o časovo náročné testy, ktoré však poskytujú cenné informácie pri riešení kvality zvuku v interiéri vozidiel. Subjektívne hodnotenie kvality zvuku je v praxi automobilike stále i finálnym hodnotením (obvyčajne hodnotenie pomocou známok od 1 do 10).

So subjektívnym hodnotením je spojených i množstvo terminov pre rôzne druhy zvukov typických pre automobily, obvyčajne súvisiacich s nejakým komponentom, či problémom. Zvyčajne je za týmito názvami snaha vyjadriť príslušný charakter zvuku tak, ako je subjektívne vnímaný napr. beep, buzz, clank, clatter, grinding, knock, rattle, squeak, tick a pod.

Zvukové záznamy pre objektívne i subjektívne hodnotenie kvality zvuku v interiéri vozidla sú merané pomocou tzv. umelej hlavy (HATS – head and torso simulator), teda použitím dvoch mikrofónov umiestnených v miestach uší. Prostredníctvom takto získaného záznamu môže poslucháč, pri použití sluchadiel, realne vnímať akustiku interiéru vozidla, akoby sa nachádzal priamo na mieste HATS v testovanom vozidle. Táto umeľá hlava, čo sa týka vlastnej hlavy, uší (vonkajšie ucho) ako i ramien, bola vytvorená na základe antropometrických parametrov, teda zodpovedá proporciám ľudského tela.

Maskovanie zvuku

Riešená kvalita zvuku je ovplyvnená i maskovacími vlastnosťami ľudského sluchu. Ide o jav, pri ktorom sú určité tóny a zvuky potlačené alebo úplne prekryté iným, obvyčajne hlasnejším zvukom. Maskovanie dvoch zvukov závisí od pomeru ich akustických tlakov, od vzdialenosti ich frekvencií. Rozlišujeme maskovanie frekvenčné a časové.

Keď sa snažíme o zlepšenie kvality zvuku v interiéri vozidla zmenšením hlasitosti dominantného zvuku, je následne potrebné venovať pozornosť aj zvukom, ktoré budú týmto odhalené. Tieto zvuky môžu tiež často zhoršiť celkovú kvalitu zvuku.

Vývoj v oblasti meraní a analýz pri riešení kvality zvuku

Merania na prototypoch

Ide o tradičný prístup k riešeniu kvality zvuku. V minulosti, keď ešte neboli k dispozícii moderné výpočtové metódy na virtuálne overenie návrhu rôznych konštrukčných celkov alebo i celého vozidla, to bola zároveň jediná metóda, ako preveriť vhodnosť použitých riešení, splnenie legislatívnych požiadaviek z hľadiska hluku a vibrácií a pod. Vzhľadom k tomu, že riešenie NVH problematiky si často vyžaduje podstatné zmeny v konštrukcii, je tento prístup menej efektívny a je spojený s veľkými nákladmi na úpravu, či zmeny použitých konštrukčných riešení.

Pri meraní na prototypoch sa okrem meraní pomocou mikrofónov alebo tzv. umelej hlavy využívajú i ďalšie testovacie metódy, ako sú napr. merania využitím akustickej kamery (i 3D), experimentálna modálna analýza, analýzy prenosových ciest, prevádzkových tvarov kmitania a pod.

Numerické metódy a simulácie

Ide už o moderný prístup k riešeniu NVH problematiky vozidiel. Týmto spôsobom je možné overiť vlastnosti a správanie sa rôznych štruktúr na výpočtových modeloch, čo umožní výrazne zmenšiť náklady na riešenie rôznych problémov, ako i skrátiť čas na uvedenie produktu na trh. Pri týchto simuláciách sa využívajú výpočtové metódy, ako sú napr. multibody simulácie (MBS), metóda konečných prvkov (FEM, prip. BEM), metóda „statistical energy analysis“ (SEA) a pod.

Využitie jazdného simulátora

Ide o najmodernejší prístup v oblasti riešenia kvality zvuku v interiéri vozidiel. Systém simulácie zvuku, prakticky celého automobilu, umožňuje virtuálne overovanie vplyvu rôznych modifikácií jednotlivých komponentov vozidla, pri rôznych režimoch jazdy. Generovanie zvuku je založené na zvukových modeloch dominantných zdrojov hluku automobilov. Tieto modely sú obvyčajne vytvorené syntézou zvukov získaných meraniami na reálnych vozidlách, ktoré je možné výpočtovo rôzne modifikovať (filtrácia, zmiešavanie zvukov a pod.) a tým meniť vlastnosti zvuku podľa rôznych charakteristík. Tento systém býva obvykle inštalovaný do interiéru podobného vozidla a okrem generovania zvuku do slúchadiel vodiča, pre rôzne modifikácie komponentov automobilu, generuje i príslušné vibrácie v miestach kontaktu vodiča s vozidlom (volant, pedále, sedáčka a pod.). Testy ukázali, že pre správne hodnotenie akustického komfortu je potrebné, aby človek, ktorý hodnotí vozidlo, bol súčasne vystavený aj pôsobeniu vibrácií, teda kombinácii podnetov. Vizualný vzhľad z jazdy je sprostredkovaný projektorom, ktorý premietá videozáznam typický pre daný režim jazdy.

Vývoj v oblasti spôsobov vlastného riešenia kvality zvuku

Tradičný prístup k riešeniu

Zvuk je od dominantných zdrojov (spaľovací motor, hnací mechanizmus, podvozok) do interiéru vozidla prenášaný vzduchom, ako i vibráciami prenášanými štruktúrou, ktoré sú následne, za istých podmienok, vyziažené ako zvukové vlny. Tradičné riešenie spočíva v konštrukčných úpravách prvkov vozidla, od miesta budenia, cez rôzne prenosové cesty, až po vyzarovacie plochy. Optimálne je riešiť zmenu hlučnosti priamo pri zdroji, teda využívať kvalitné agregáty, komponenty s optimalizovanými dynamickými vlastnosťami a pod. Optimalizácia dynamických vlastností je obvyčajne spojená i so zmenšením prídavných dynamických zaťažení a tým aj so zmenšením opotrebenia, zlepšením funkčných vlastností, únavových charakteristík, spoľahlivosti a životnosti.



**Meranie v polo-bezod-
zvukovej komore
(metrika z oblasti
psychoakustiky)**

Nové prístupy k riešeniu kvality zvuku

V súlade s rastúcimi ekologickými požiadavkami na prevádzku vozidiel sa vyžaduje plnenie čoraz prísnejších emisných, ale i hlukových limitov. Z hľadiska konštrukcie vozidiel je tu teda neustály tlak na výrobcom na hľadanie optimálnych riešení, najmä, čo sa týka použitého motora. V tejto súvislosti sa čoraz viac využívajú menšie trojvalcové preplňané motory, rozširuje sa použitie hybridných pohonov, ako aj čisto elektrických vozidiel. Z dôvodu zmenšenia spotreby paliva sú tu tiež požiadavky na zmešovanie hmotnosti vozidiel, samozrejme pri zlepšovaní ich užitočných vlastností, bezpečnosti a pod. Tieto trendy si vyžadujú i hľadanie nových prístupov k riešeniu kvality zvuku vozidiel. Medzi tieto nové prístupy je možné zaradiť napríklad:

- **Použitie nových materiálov, technológií:** v konštrukcii vozidiel sa, najmä z hľadiska zmenšenia hmotnosti, v čoraz väčšej miere uplatňujú plasty, ale i ďalšie nové materiály, ako sú napr. sendvičové kompozity, polykarbonáty, penový hliník, uhlíkové vlákna a pod. Tieto materiály umožňujú zmenšiť hmotnosť rôznych komponentov automobilu pri zachovaní ich pevnostných charakteristík. Navyše sa tiež vyznačujú pomerne veľkými vnútornými tmeňmi. To umožňuje zmenšiť množstvo dodatočných tlmiacich materiálov, čo vedie k ďalšiemu zmenšeniu hmotnosti vozidla. Podobne, v súvislosti s rozširujúcim sa využívaním systému ANC (Active noise control), je možné zase zmenšiť množstvo zvukovopohltivých materiálov v interiéri vozidla. Pri spájaní jednotlivých častí karosérie vozidla sa rozširuje použitie lepených spojov, čo tiež prízvisvo vplyva i na NVH vlastnosti.

- **Nasadenie aktívnych lôžok spaľovacieho motora:** zabudovanie výkonných motorov s menším počtom valcov (trojvalcové motory), ak sú použité len bežné elastomérové uloženia, je často spojené s väčším prenosom vibrácií do karosérie vozidla. Ako veľmi vhodné sa tu ukázalo nasadenie aktívnych lôžok. Aktívne lôžka pozostávajú z pasívnych úchyto, akčných členov, snímačov, riadiacej jednotky. Poskytujú veľmi kvalitnú izoláciu vibrácií spaľovacieho motora. Aplikácia aktívnych lôžok napríklad umožňuje tiež konštruovať trojvalcové motory bez použitia vyvažovacieho hriadeľa a tým dosiahnuť ďalšie zmešovanie hmotnosti a aj ceny vozidla.

- **Aktívne zavesenie kolies vozidla:** tento systém umožňuje potlačenie nežiadúcich pohybov karosérie vozidla (stabilizácia využitím „skyhook“ princípu) a týmto významne ovplyvňuje jazdný aj akustický komfort.

- **Aktívny systém zvuku:** v súvislosti s rozširujúcim sa používaním motorov s menším zdvihovým objemom, menším počtom valcov, ale i elektrických vozidiel, ktoré sa obvyčajne nevyznačujú charakterom zvuku, snažia sa výrobcovia automobilov poskytnúť zákazníkom atraktívny zvuk prostredníctvom tzv. aktívnych systémov zvuku. Vodič si môže pri tomto systéme zvoliť rôzne profily zvukov, napr. zvuk motora V8 a pod. Tento zvuk je generovaný v závislosti od otáčok a zaťaženia skutočne zabudovaného motora. Pri elektrických, ale i hybridných vozidlách sa podobným spôsobom realizuje aj zvukový výstražný systém (AVAS), ktorý slúži na upozornenie chodcov alebo nevidiacich ľudí na prítomnosť takéhoto automobilu. Vozidlá musia pri rýchlosti do 20 km/h vyzdavať zvuk na úrovni minimálne 56 dB. Tón zvuku sa musí zvyšovať pri zrýchľovaní vozidla a znížiť sa pri jeho spomaľovaní.

Len systematický prístup a včasné integrovanie NVH problematiky do vývojových fáz vozidiel a ich komponentov, môže zabezpečiť akusticky optimálne a zároveň cenovo dostupné vozidlá. Moderné metódy akustickej optimalizácie sa tak stali neodlučiteľnou súčasťou procesu vývoja nových vozidiel a ich komponentov.