

## Iskanje virov ječanja bobnastih zavor gospodarskih vozil po metodi TVA-FMEA: študija primera

Sedat Karabay<sup>1</sup> – Kasım Baynal<sup>2,\*</sup> – Cengiz İğdeli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Kocaeliju, Tehniška fakulteta, Oddelek za strojništvo, Turčija

<sup>2</sup> Univerza v Kocaeliju, Tehniška fakulteta, Oddelek za industrijski inženiring, Turčija

V članku je predstavljena strategija za iskanje glavnih vzrokov reklamacij zaradi ječanja zadnjih bobnastih zavor gospodarskih vozil, ki jo je uporabil proizvajalec avtomobilov. Pri tem je uporabil podatke, pridobljene na reklamiranih vozilih, vozilih na proizvodni liniji in laboratorijskem preizkuševališču zavor.

Iz bobnastih zavor pogosto prihaja močan zvok ječanja, zaradi katerega kupci uveljavljajo reklamacije. Ječanje je posledica vzbujanja konstrukcije vozila in komponent vzmetenja z zavornim sistemom, ki med zaviranjem povzroči močno slišno in občutno reakcijo.

V članku so opisane eksperimentalne študije nizkofrekvenčnega ječanja bobnastih zavor, ki je proizvajalcu povzročilo visoke stroške reklamacij. Najprej so bili identificirani pogoji okolice in reproducirano ječanje. Za simulacijo ječanja so bili z vozila demontirani problematični deli zavor in vzmetenja ter nato uporabljeni v testni postavitvi za ugotavljanje glavnih virov hrupa, vibracij in grobega delovanja v laboratorijskih pogojih. Preskusi na vozilih so bili opravljeni v tovarni in v prometu. S pomočjo strokovnjakov za tehniko vozil so bile opravljene meritve ječanja in vibracij za lokalizacijo virov hrupa na reklamiranih vozilih. Kot je opisano v nadaljevanju, je bila za izvedbo načrtovane strategije podrobne študije uporabljena različna oprema za analizo hrupa, vibracij in grobega delovanja s pripadajočim priborom. Pri študiji sta bili uspešno uporabljeni metodi TVA (analiza celotne vrednosti) in FMEA (analiza možnih napak in njihovih posledic). Načrtovana strategija iskanja glavnih vzrokov je sistematično izločila sekundarne in terciarne vplive ječanja zavor. Meritve vibracij in ječanja v okviru ugotavljanja glavnih vzrokov so bile izvedene in interpretirane v skladu s kartami TVA in FMEA. Preučena je bila občutljivost materiala oblog zavornih čeljusti na različne okoljske pogoje. Končno je obravnavan tudi mehanizem ječanja sistema zavornega bobna in podrobna rešitev za odpravo nizkofrekvenčnega ječanja zavornih bobnov.

Ugotovljeno je bilo, da je ječanje zavor posledica dinamične nestabilnosti nekonzervativnih tornih sil. Vibracije zaradi delovanja tornih sil na deformirane kontaktne površine povzročajo premike tornih površin oblog in težave z ječanjem zavor. Količina dela vibrirajočih komponent zavor se zato razlikuje pri vibracijskem gibanju naprej in nazaj, zaradi česar se pojavita dinamična nestabilnost sistema in zvok ječanja zavor. Raziskava je pokazala, da je zvok ječanja zavor odvisen od koeficienta trenja ter od lege kontaktnih površin tornega materiala in kovinske površine bobna. Površina obloge zaradi predolgega časa sintranja kompozitnega materiala čezmerno kristalizira in zmanjša se učinkovitost zaviranja. Obloga zaradi manjšega zavornega učinka ob stiku z notranjo površino bobna pritiska na boben, vibracije suhega trenja pa povzročajo zvok ječanja.

Odpirajo se možnosti za razvoj novega pristopa za podjetja, ki se ukvarjajo z množično proizvodnjo tehničnih izdelkov, vključno s tehnikami za hitro in natančno preizkušanje termomehansko oblikovanih kompozitnih materialov.

Ugotovljeno je bilo, da je čas sintranja zavornih oblog ključen za tiho delovanje bobnastih zavor lahkih gospodarskih vozil. Pri izdelavi kompozitnih oblog je zato treba upoštevati postopek obdelave, ki je bil potrjen v laboratorijskih preizkusih. Z drugimi besedami, za 5 °C previsoka temperatura in za 190 sekund predolg čas sintranja sta morda povzročila za več milijonov dolarjev škodo.

**Ključne besede:** bobnasta zavora, TVA, FMEA, NVH, koeficient trenja, ječanje zavor, zavorne obloge