

TENZOMETRICKÉ PROVOZNÍ MĚŘENÍ TROLEJBUSU 14 Tr A ODHAD ÚNAVO- VÉ ŽIVOTNOSTI KRITICKÉHO PRVKU KAROSERIE

Ing. Zdeněk Bohdan, Ing. Ivo Vaicenbacher

Ústřední výzkumný ústav-Výzkum strojirenský, ŠKODA k.p. PLZEŇ

V důsledku neustálé snahy o zvyšování parametrů trolejbusů 14 Tr byly zahájeny výzkumné aplikační práce s cílem zvýšení únavové životnosti jejich konstrukce.

Hlavní realizační cíle byly:

- konstrukční a technologické úpravy původní konstrukce zvyšující životnost ~~pro~~ hrubé provozní podmínky
- návrh konstrukčního vyztužení pro dodané trolejbusy u uživatelů
- na základě experimentálně ověřených úprav zavést pro seriovou výrobu perspektivní modernizovaný trolejbus 14 Tr se zvýšenou životností.

Hlavní důraz při komplexním řešení problematiky životnosti byl kladen v jednotlivých fázích optimalizace konstrukce na experimentální ověření účinnosti konstrukčních úprav a odhad očekávané životnosti renovovaného a modernizovaného trolejbusu 14 Tr (dále jen Re-Tr a Mo-Tr).

Experimentální tenzometrické měření bylo zahájeno na zapůjčeném trolejbusu z depa Plzeň, který neměl viditelné trhliny a najel 7000 km. Vyhodnocované přírůstky dynamické napjatosti na kritických místech dveřních sloupků při jízdách přes překážky na zkušební trati v Ostrově byly poměrně vysoké přesahující $\pm 230 \text{ N/mm}^2$. Měření pokračovalo po radikálním zesílení dveřních sloupků, ale přírůstky napětí byly stále větší než $\pm 200 \text{ N/mm}^2$.

Po předběžném experimentálním proměření napjatosti na zkušební trati v Ostrově bylo přistoupeno k systematickému zkoušení, kde hlavní úkoly byly soustředěny na experimentální výsledky napjatosti a další se zabývaly rozborem technologie svařování, materiálem, tuhostí hlavních částí trolejbusu, budícími silami a pod.

Výsledkem měření šesti postupných variant s různými úpravami bočnic a rámu bylo navržení úpravy trolejbusu shrnující zjištěné poznatky. Po odzkoušení a menších úpravách byla naměřena snížená napjatost s max. hodnotou $\sigma_a = \pm 90 \text{ N/mm}^2$ a bylo doporučeno závodu Škoda Ostrov nahradit dosavadní konstrukci výrobou Re-Tr.

Napjatost v kritických místech byla však i na těchto Re-Tr stále vyšší i když střední hodnota odhadnuté životnosti se zvýšila z původních 24 000 km na 82 000 km.

Další zkoušené varianty nově vyráběného Re-Tr byly dynamicky proměřovány s oscilografickým i magnetofonovým záznamem při jízdách na zkušební trati přes umělé překážky i ověřovány na vybraných úsecích reálných tratích v Mariánských Lázních a na vozovkách se zhoršeným povrchem v Plzni při rychlosti 40 km/h. Naměřená napětí na reálných tratích rámcově odpovídala napjatosti na překážkách o výšce 60 mm. Hodnoty u dveřních sloupků potvrdily, že je nutno zabývat se tuhostí rámu i zesílením sloupků bočnic, aby se snížila napjatost v prostoru kritických míst u středních dveří. Tyto úpravy byly rozšířené řešeny na zkušebně ÚVZÚ v Plzni, na nedokončeném trolejbusu, který byl uložen na řízených hydraulických válcích a při napodobení provozní jízdy přes překážky byly zkoušeny různé typy vyztužení rámu, bočnic i střešní konstrukce.

Výsledek těchto rozsáhlých zkoušek byl návrh na vyztužení pro opravy provozovaných trolejbusů původního provedení i návrh modernizace karoserie a podvozkových částí. Napjatost na sloupcích bočnic pod střešním podélníkem i po těchto úpravách byla stále vyšší než v ostatních místech. Na dalším novém Re-Tr byl proto ověřován vliv uvolnění střechy od bočnice. Výsledek byl mírné zvýšení napětí střešní konstrukce i sloupku spodní části oken, ale hlavně se snížila napětí v místech středních dveří a proto tato úprava byla navržena pro Mo-Tr.

Ověřovací zkoušky byly provedeny na provizorně upraveném Mo-Tr při měření napětí na rozhodujících místech na zkušební trati při zátěži 7000 a 10 000 kg reprezentující 94 a 143 cestujících. Napjatost naměřená při přeskočení umělých překážek (60 mm) byla do $\pm 60 \text{ N/mm}^2$, na reálné trati

v Plzni na asfaltu i kostkách byly přírůstky napětí nižší než na překážkách v Ostrově.

Při srovnání původního i Re-Tr byla u moderního provedení v kritických místech napjatost v přípustných mezích a nepřevýšila hodnotu $\pm 60 \text{ N/mm}^2$ a při jízdách v městském provozu po asfaltu $\pm 30 \text{ N/mm}^2$.

Při odhadu očekávané životnosti Re-Tr a Mo-Tr jsme vycházeli ze: - spolehlivostního rozboru poruch původního trolejbusu

- experimentálně zjištěné křivky životnosti kritického prvku karoserie trolejbusu
- informací o provozním zatížení Re-Tr a Mo-Tr při jízdě po úsecích charakteristických trolejbusových tratí
- rozboru současných poznatků o únavovém mezním stavu svařovaných konstrukcí při provozním namáhání

Spolehlivostním rozbozem provozních poruch nosného systému trolejbusu jsme určili kritickou oblast konstrukce (oblast středních dveří) a pro ni jsme stanovili spolehlivostní charakteristiky - funkci spolehlivosti $R(1)$ a funkci intenzity poruch za předpokladu aproximace empirické distribuční funkce poruch Weibullovým tříparametrickým modelem spolu s hodnotou pražské a očekávané (střední) životnosti.

Kritický konstrukční prvek karoserie jsme podrobili experimentálnímu harmonickému zatěžování, kdy úroveň namáhání byla určována tenzometricky v místě shodném s provozním měřením. Křivku životnosti (středních hodnot životnosti) jsme získali lineární regresí exp. dat.

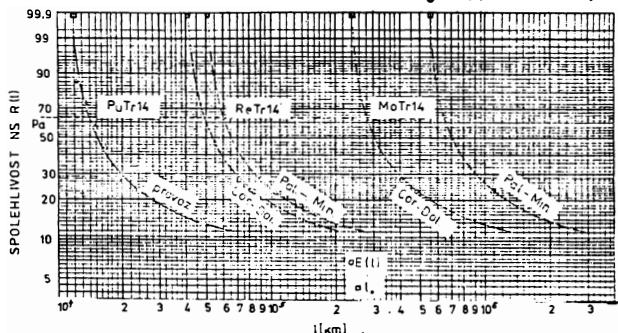
Na základě vyhodnocení magnetofonových záznamů provozních měření Re-Tr a Mo-Tr metodou stékání deště na úsecích reálných trolejbusových tratí byla sestavena modelová trať, pro kterou jsme určili očekávanou životnost výpočtem za předpokladu platnosti Corten-Dolanovy hypotézy kumulace poškození. Získané výsledky vypočtené očekávané životnosti původního trolejbusu na modelové trati jsme porovnali s hodnotou očekávané životnosti získanou rozbozem provozních poruch a na základě tohoto jsme korigovali vypočtené hodnoty očekávané životnosti pro Re-Tr a Mo-Tr. Získaných výsledků spolu s využitím publikovaných poznatků ($1/1, 2/2, 3/3$) jsme

použili k odhadu prahových hodnot životnosti Re-Tr a Mo-Tr a průběhu funkce spolehlivosti. Funkce spolehlivosti pro původní trolejbus Re-Tr a Mo-Tr jsou uvedeny na diagramu spolu s hodnotami prahové a očekávané životnosti.

Výsledky rozsáhlého experimentálního měření i stanovení životnosti jsou zahrnuty v postupném zvyšování životnosti trolejbusu 14 Tr.

Podle ověřených návrhů byl do výroby dočasně zaveden Re-Tr, který měl oproti původnímu přípustná napětí do $\pm 90 \text{ N/mm}^2$ a očekávanou životnost 82 000 km/h.

Dále byla pro vyrobené trolejbusy původního provedení navržena úprava, kterou bylo možno provést u uživatele a která rovněž snižovala napjatost a zvyšovala životnost. Konečný návrh Mo-Tr byl vyvrcholením dlouhodobých zkoušek celé řady variant s různým ověřováním, modelových zkoušek a statických i dynamických výpočtů. Ověřený provizorně vyrobený Mo-Tr dal podklad pro návrh jeho konečného provedení, které po proměření prvního vozu ověřovací série nahradí původní i renovovanou úpravu a bude po pevnostní stránce vyhovovat i pro provoz se stíženými podmínkami. Ověřená provozní napjatost v kritických místech nepřekročila hodnotu $\pm 60 \text{ N/mm}^2$ a stanovená střední hodnota životnosti je 470 000 km/h.



Literatura:

- 1/ Ang.A.H., Munse, W.: "Practical Reliability Basis For Structural Fatigue, ASCE konf. New Orl. (prep. 2494), 1975
- 2/ Dowling, N., E.: "Fatigue Failure Predictions for Complicated Stress-Strain Histories", Journal of Ma., Vol. 7, No. 1.
- 3/ Haibach, E., Oliver, R.: "Streuanalysen der Ergebnisse atd., Materialprüfung, Vol. 17, No. 11, 1975.