

DYNAMICKÉ NAMÁHANIE NOSNÝCH PRVKOV NÁKLADNÝCH VOZIDIEL S OHĽADOM NA VYBRANÉ REŽIMY PREVÁDZKY

DYNAMIC STRESS OF LORRIES LOAD-BEARING ELEMENTS WITH RESPECT TO SELECTED MODES OF OPERATION

Bohuš Leitner¹

Anotácia: Cieľom príspevku je prezentácia najvýznamnejších výsledkov porovnávacej štúdie, v ktorej na základe série simulačných výpočtov boli analyzované vplyvy kvality povrchu vozovky a prevádzkovej rýchlosti na dynamické namáhanie najviac exponovaných nosných prvkov nákladného vozidla TATRA 815 S2. Na základe výsledkov simulačných experimentov bolo možné vykonať analýzu vplyvu faktorov typických prevádzkových podmienok nákladných vozidiel na spoľahlivosť ich najexponovanejších prvkov vo forme kvantifikácie odhadu ich únavovej životnosti.

Kľúčové slová: dynamické namáhanie, režim prevádzky, spoľahlivosť, únavová životnosť.

Summary: Aim of the paper is to present the most important results of the comparative study, which based on a series of simulation calculations, were analyzed influences the quality of the road surface and the operating speed on the dynamic stress of truck TATRA most exposed structural element. Based on the results of simulation experiments, it is possible to analyze the influence factors of trucks typical operating conditions for reliability of the most exposed elements of structure in the form of a quantified estimate of the fatigue life.

Key words: dynamic stress, mode of operation, reliability, fatigue life.

ÚVOD

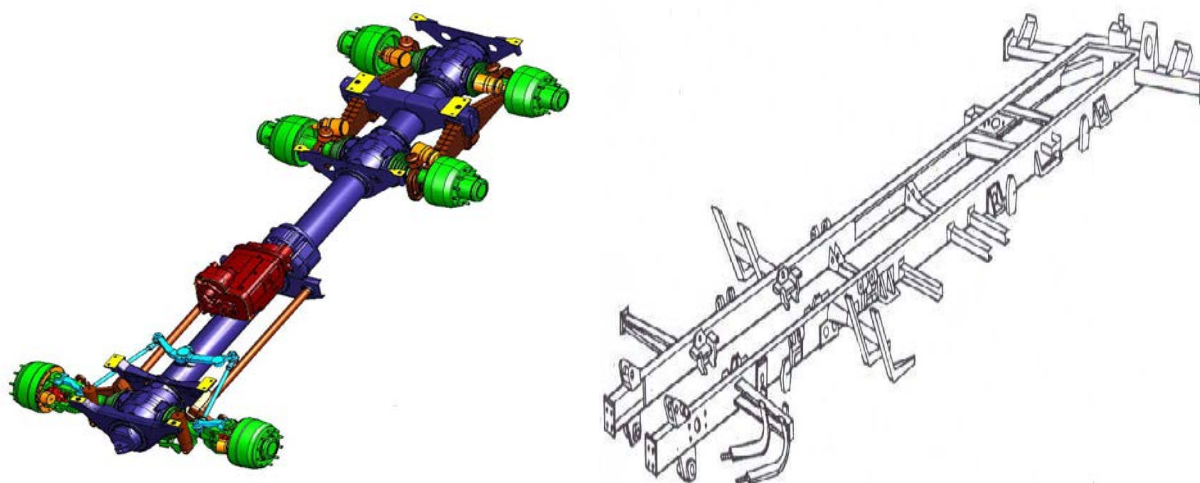
V procese tvorby novej konštrukcie je možné prostredníctvom výpočtovej techniky a vhodného programového vybavenia vytvárať nové, virtuálne prototypy alebo navrhovať a overovať rozličné inovácie a zmeny parametrov konštrukcie. Z uvedenými činnosťami priamo súvisí aj oblasť vývoja nových postupov a techník, umožňujúcich analýzy rozličných vlastností a parametrov navrhovaných resp. už prevádzkovaných zariadení, realizované na dostatočne verných modeloch. Ich spoločným znakom je najmä možnosť ich využitia pri posudzovaní vypracovaného návrhu a jeho ďalšej optimalizácii z hľadiska konštrukčných, prevádzkových, pevnostných a únavových vlastností jednotlivých prvkov konštrukcie resp. konštrukcie ako celku. Cieľom príspevku je predovšetkým prezentácia vybraných výsledkov analytickej štúdie, ktorej cieľom bola analýza vplyv akosti vozovky a prevádzkovej rýchlosti

¹ Doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta špeciálneho inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky., 1.mája 32, 010 26 Žilina, SR, Tel.: +421 41 513 6863, Fax: +421 41 513 6612, E-mail: Bohus.Leitner@fsi.uniza.sk

na namáhanie exponovaných miest nosných častí (chrbticový rám a pomocný rebrinový rám) a strednej nápravy nákladného vozidla TATRA 815 S2. Na základe série simulačných výpočtov bolo možné následne vykonať posúdenie vplyvu najbežnejších faktorov typických prevádzkových podmienok nákladných vozidiel na spoľahlivosť a bezpečnosť skúmaných prvkov vozidla, vyjadrenú vo forme odhadu predpokladanej únavovej životnosti najexponovanejších prvkov s ohľadom na ich dynamické namáhanie. Je samozrejmé, že v príspevku nebude možné analyzovať všetky pôsobiace charakteristiky a faktory typických prevádzkových podmienok nákladných vozidiel, pretože ich komplexné a detailné zachytenie nie je prakticky realizovateľné, najmä z hľadiska ich šírky a rozmanitosti možných stavov a režimov. Predložený článok je potrebné chápať ako príspevok ku kvalitatívnemu posudzovaniu vplyvu vybraných činiteľov prevádzkových podmienok na spoľahlivosť nosných, a teda extrémne namáhaných častí dopravných strojov.

1. CHARAKTERISTIKA NOSNÝCH PRVKOV VOZIDLA TATRA 815 S2

Konštrukcia podvozku vozidiel Tatra s výkyvnými nápravami umožňuje plynulé a rýchle prejazdy terénymi nerovnosťami a podľa výrobcu sa ani veľké výchylky kolies, spôsobené nerovnosťami povrchu vozovky, neprenášajú na vozidlo. Práve toto konštatovanie výrobcu bolo základným motívom pre realizovaný výskum jeho dynamického namáhania a posudzovania jeho vplyvu na prevádzkové a spoľahlivostné parametre jeho nosných prvkov. Od dynamiky hmôt a správania sa nosných prvkov pod zaťažením priamo závisia aj ďalšie významné parametre kmitania, opotrebenia, deformácie, príp. ich cyklického namáhania a s tým súvisiacich problémov únavy. Podvozok automobilu TATRA 815 S1 je tvorený rámom, pomocným rámom, prednými a zadnými podvesmi zloženými z náprav s kolesami, pružením, vlastnými brzdami a ovládacím ústrojenstvom riadiacich náprav, riadením a brzdovým ústrojenstvom. Priestorový model podvozku vozidla TATRA a model tzv. pomocného rebrinového rámu je uvedený na Obr.1



Obr.1 : Priestorový model podvozku a pomocného rebrinového rámu vozidla TATRA

Hlavná nosná časť vozidla je tvorená chrbticovým rámom, ku ktorému je prichytený pomocný rebrinový rám pre uloženie karosérie, hnacieho agregátu a korby.

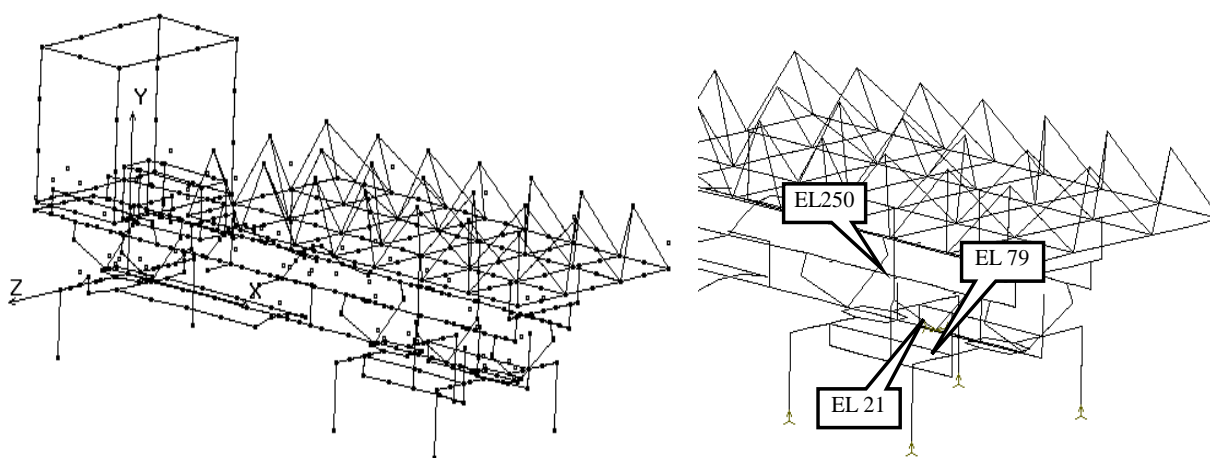
Chrbticový (tzv. nadstavbný) rám, je tvorený skriňami prevodoviek jednotlivých náprav, skriňou prídavnej prevodovky, predným a zadným spojovacím dielom, prednou a zadnou nosnou rúrou a priečnikmi. Spojenie uvedených častí je vykonané prírubami a skrutkovými spojmami. Na priečnikoch je skrutkovými spojmami uchytený pomocný rebrinový rám (Obr.1), zvarovaný z pozdĺžnych profilov tvaru 'U' (250x100x7 mm), ktoré prechádzajú cez celú dĺžku vozidla a sú spojené priečkami. Na tomto pomocnom ráme sú na priečkach, konzolách a držiakoch upevnené, okrem iného, tiež kabína vodiča, motor so spojkou, korba, navijak, ťažné zariadenie, nárazníky apod. Použité nápravy vozidla sú dimenzované na zvýšené dynamické zaťaženie a zabezpečujú prenos síl a momentov z náprav do rámu vozidla.

2. TVORBA VIRTUÁLNEHO MODELU VOZIDLA A IDENTIFIKÁCIA KRITICKÝCH PRVKOV NOSNÝCH ČASTÍ

Cieľom bolo vytvoriť model, ktorý by mal v prvom rade spĺňať požiadavky súvisiace s jeho jednoduchosťou, ale zároveň adekvátnosťou vystihnúť vlastnej fyzikálnej podstaty skutočnej konštrukcie, ktorú predstavuje.

Pri praktickej realizácii činností súvisiacich s tvorbou modelu vozidla TATRA 815 S2 a pri realizácii ďalších potrebných analýz bol využitý známy modulárny systém ANSYS. Jeho praktická aplikácia spočívala vo všeobecnosti v realizácii niekoľkých na seba nadväzujúcich etáp, súvisiacich s vlastným generovaním geometrie modelu, definíciou prvkov a ich prierezových konštánt a materiálových vlastností, tvorbou siete konečných prvkov, definovaním geometrických okrajových podmienok, zadaním pôsobiaceho zaťaženia a vlastným výpočtom s verifikáciou získaných výsledkov.

Pri tvorbe konečno-prvkového modelu analyzovaného vozidla TATRA boli využité nosníkové prvky typu BEAM3D, hmotné prvky typu MASS, axiálne pružiacie okrajové prvky typu BOUND a k nim pridané tlmiace členy. Výsledný spracovaný model nákladného automobilu TATRA je pre prezentovaný na Obr.2.

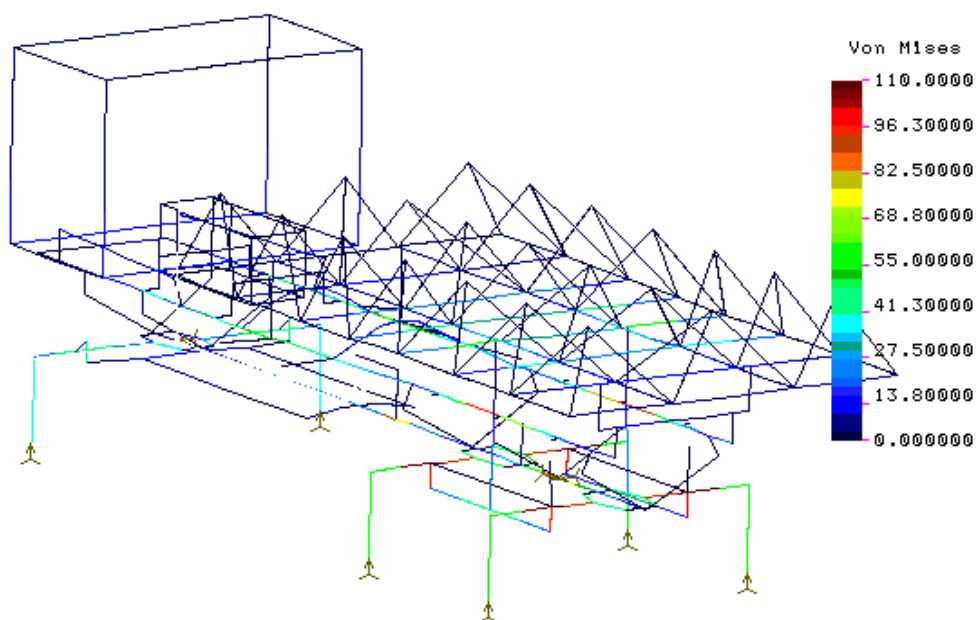


Obr.2 : Výsledný model vozidla a detail umiestnenia kritických častí konštrukcie

Je zřejmé, že při odhade spolehlivosti a životnosti nemožno venovat rovnakú pozornosť všetkým agregátom, uzlom a súčastiam. Porucha niektorých z nich môže byť iba malého rozsahu a bez vplyvu na prevádzkyschopnosť, iných závažná a niektorých katastrofálna.

Vzhľadom k tomu je nutné rozhodnúť, ktoré časti konštrukcie si budú vyžadovať podrobnejšiu analýzu. K tomu je možné využiť niekoľko prístupov, ako napr. skúsenosť konštruktéra, obsluhy, používateľa apod., príp. expertný odhad, výskyt prevádzkových lomov príp. strom porúch spolu s analýzou príčin, následkov a kritickosti porúch (1).

Z uvedeného dôvodu bolo, na základe realizovanej statickej analýzy a určenia hodnôt napätí v jednotlivých elementoch spracovaného konečno-prvkového modelu vozidla (Obr.3), identifikovaných niekoľko extrémne namáhaných elementov, reprezentujúcich konkrétne časti (miesta) skutočnej konštrukcie vozidla. Z takto určených elementov boli identifikované aj prvky, kritické z hľadiska miery dynamického a cyklického zaťaženia a z neho vyplývajúcej kumulácie únavového poškodenia. Prípadná únavová porucha týchto nosných prvkov by mohla vyvolať závažné prevádzkové problémy a spôsobiť neočakávanú kritickú poruchu.

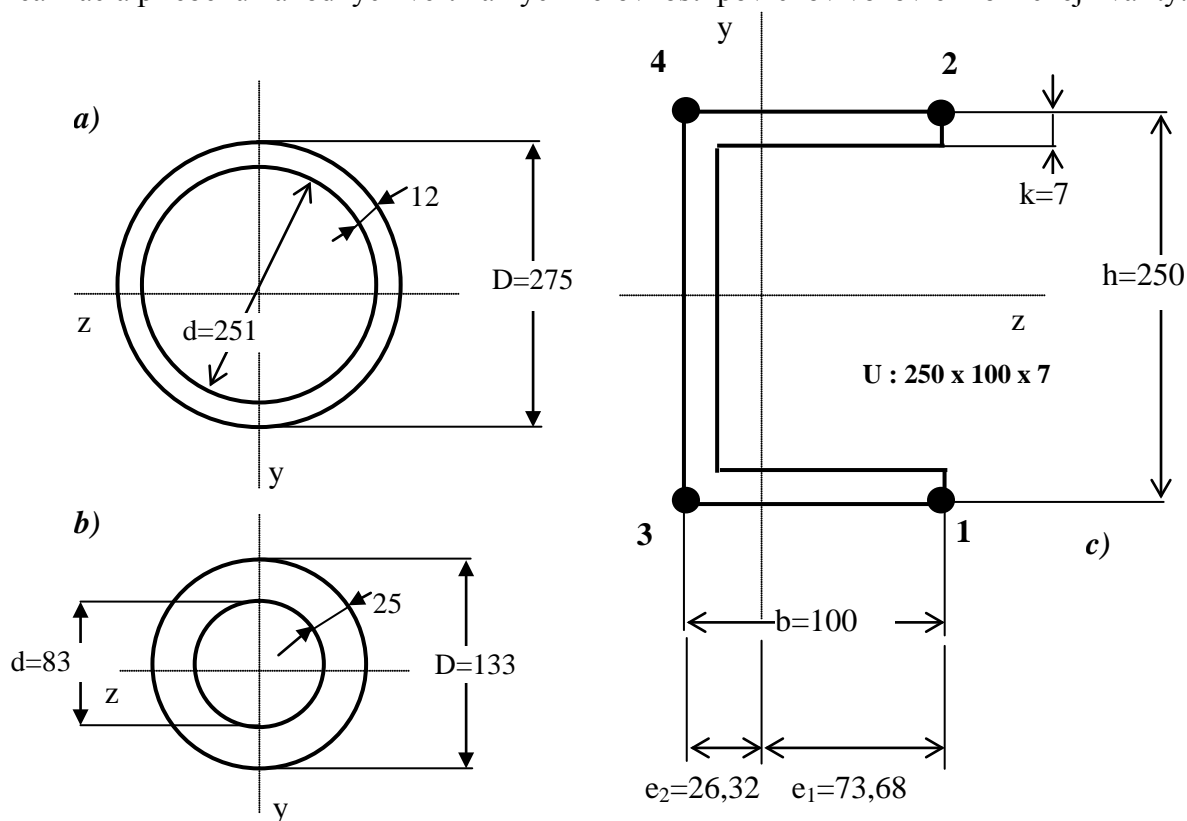


Obr.3 : Výsledky statickej analýzy napätosti MKP modelu

Z grafického vyjadrenia napät'ovej analýzy a výstupných súborov ďalších realizovaných analýz vyplynulo, že extrémne namáhané elementy sú najmä elementy číslo 21, 79 a 250. Jednotlivé exponované nosné prvky vozidla je možné stručne charakterizovať nasledovne :

- element 21 - **časť nosného chrbticevého rámu vozidla**, konkrétne zadnej nosnej rúry, konštrukčný materiál – oceľ 11 523, profil podľa obr.4a,
- element 79 – predstavuje **časť hrubostennej tvarovanej mostovej rúry pravej strednej polonápravy**, konštrukčný materiál – oceľ 11 523, profil rúry podľa obr.4b,
- element 250 – **časť pozdĺžneho nosníka pomocného nosného rámu**, približne v mieste stredu medzi oboma zadnými nápravami, profil U 250x100x7, materiál – oceľ 11 523, profil elementu podľa obr.4c.

Navrhnutý a verifikovaný výpočtový MKP model vozidla bol buďený náhodnou funkciou reprezentujúcou priebehy náhodných výškových nerovností povrchov vozoviek rozličnej kvality a relatívne náročných terénnych podmienok. Východiskové nerovnosti povrchu vybraných – etalónových - úsekov vozoviek a terénu, identifikovaných na základe platných normatívnych klasifikácií povrchov vozoviek boli získané na základe experimentálneho merania. Výstupom z realizovaných experimentov bola vždy jedna realizácia priebehu náhodných vertikálnych nerovností povrchov vozoviek rozličnej kvality.



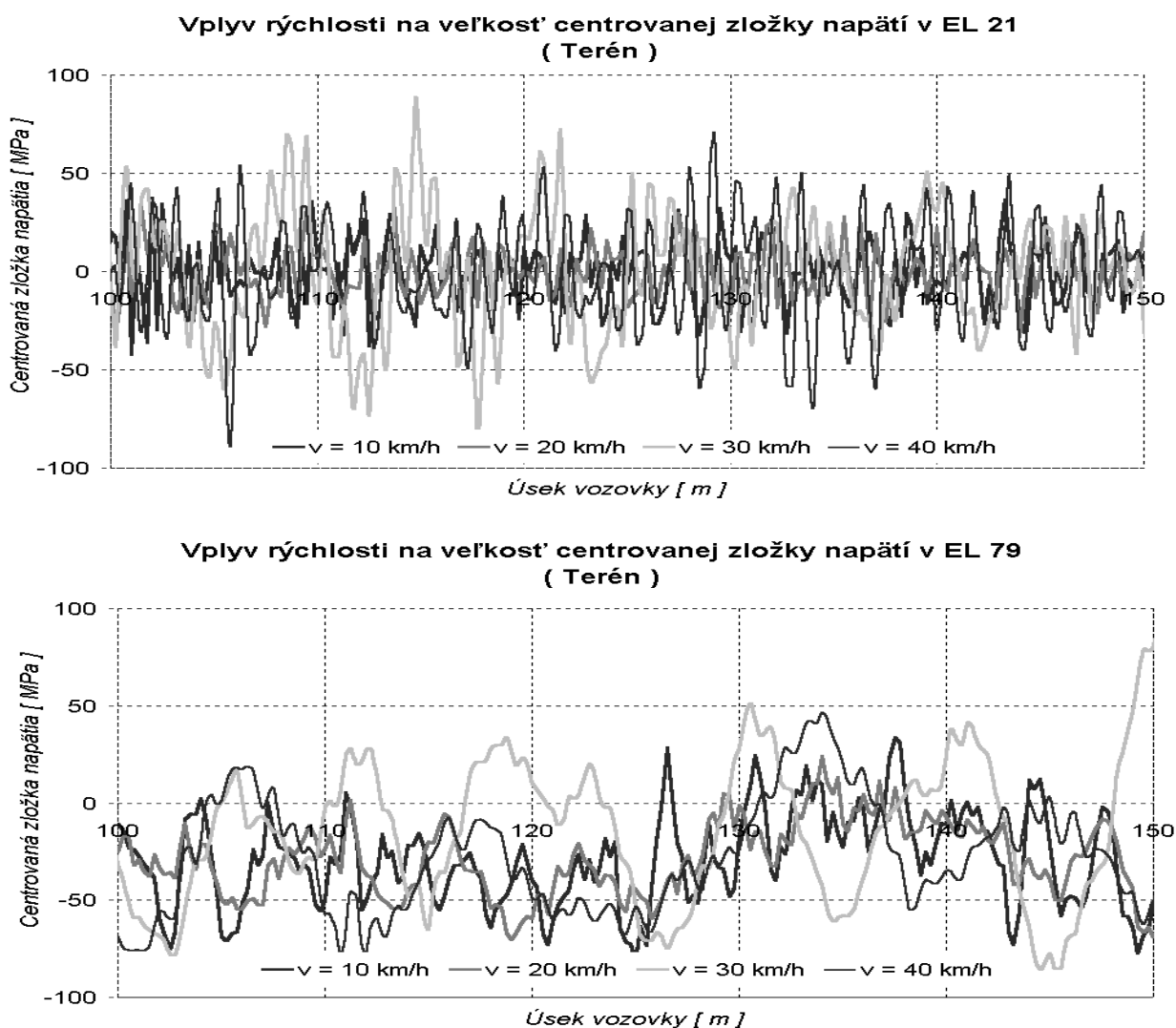
Obr.4 : Prierezy analyzovaných kritických prvkov

Z dôvodu náročnosti experimentálnych meraní a nutnosti využitia viacerých realizácií priebehov vertikálnych nerovností pre každú kvalitu povrchu sa ukázalo ako efektívnejší spôsob využitie matematického modelovania stochastických priebehov nerovností prostredníctvom známej teórie časových postupností a jej teoretického aparátu autoregresných modelov. Na základe spomenutého matematického aparátu bol generovaný potrebný počet realizácií náhodných funkcií výšok nerovností zvolených etalónových úsekov, ktoré objektívne vyjadrovali priebehy nerovností povrchov vozoviek a terénu, po ktorých sa vyšetované vozidlo pohybovalo príslušnou, nami predpísanou rýchlosťou (2).

3. POSÚDENIE VPLYVU VYBRANÝCH FAKTOROV PREVÁDZKOVÝCH PODMIENOK NA NAMÁHANIE KRITICKÝCH PRVKOV VOZIDLA

Na základe získaných priebehov odozvy konštrukcie v určených kritických miestach na simulované kinematické buďenie a ich detailnej analýzy možno konštatovať, že oba zvolené prevádzkové faktory – *kvalita povrchu* a *rýchlosť pohybu* - majú významný vplyv na úroveň

namáhania kritických častí skúmaného vozidla. Bolo zistené, že určené priebehy a extrémne hodnoty napätí vo vytipovaných miestach konštrukcie sú vo veľkej miere závislé najmä na zvolenej prevádzkovej rýchlosti. Pre ilustráciu sú vybrané grafické výstupy z porovnania vplyvu rýchlosti jazdy na úroveň dynamického namáhania kritických častí vozidla pri jazde po zvolenej kvalitatívnej kategórii povrchu prezentované na Obr.5. Grafický výstup z posudzovania vplyvu kvalitatívnych vlastností povrchu pri zvolenej rýchlosti pohybu je pre vybrané režimy na Obr.6

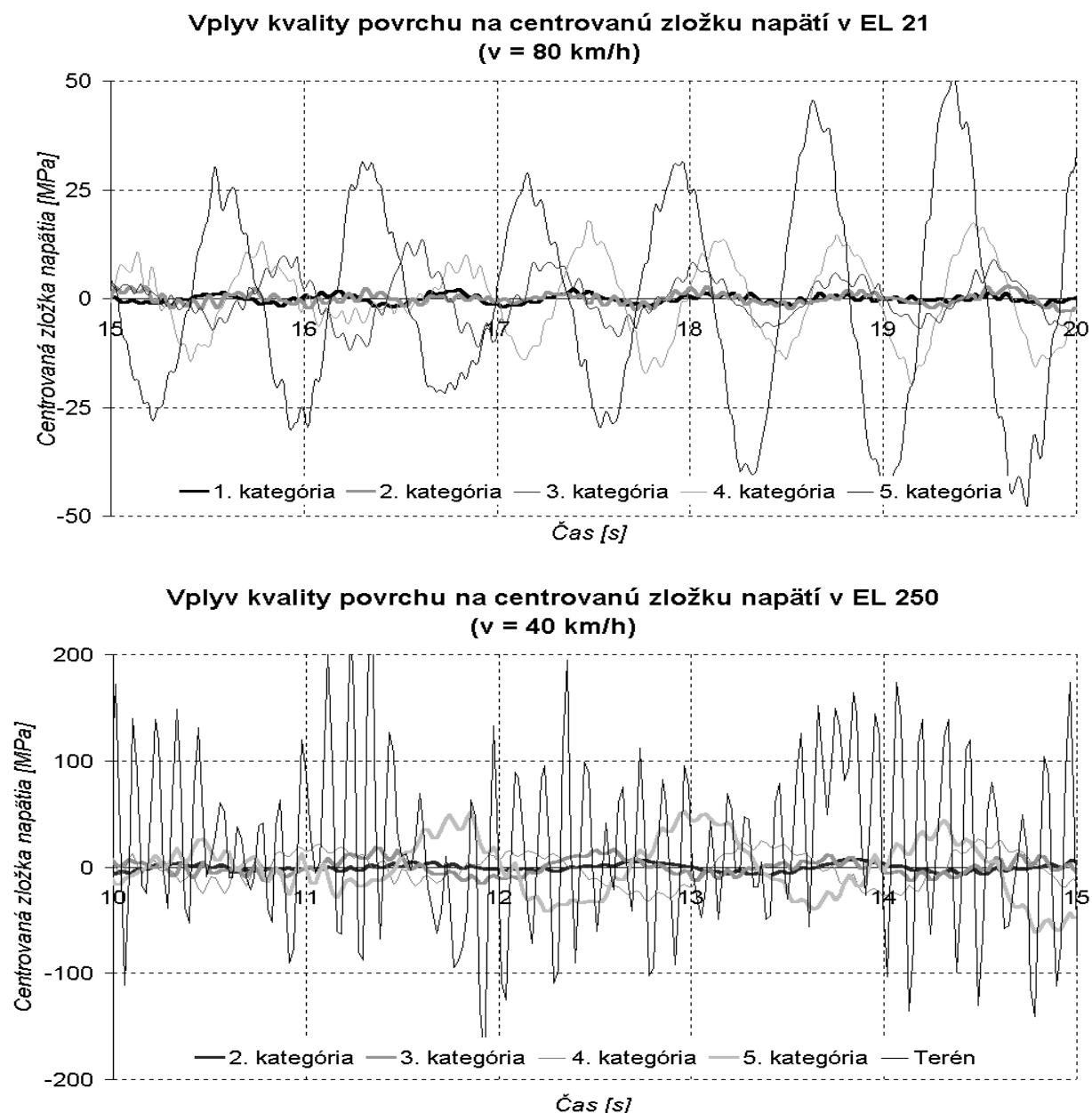


Obr.5 : Vybrané grafické priebehy dynamickej zložky napätí vznikajúcich v kritickom elemente pri rozličných rýchlostiach pohybu v terénnych podmienkach

Z priebehov napätí vo vybraných kritických elementoch a ich analýzy bolo zistené, že z hľadiska vplyvu kvality povrchu jednotlivých kategórií vozoviek na proces kumulácie únavového poškodenia má reálny význam najmä prevádzkovanie skúmaného vozidla TATRA na vozovkách 5 kategórie a v terénnych podmienkach. Z tohto dôvodu bola pozornosť sústredená najmä na posudzovanie úsekov a im priradených prevádzkových rýchlostí, prislúchajúcich piatej kategórii vozoviek a relatívne agresívnym terénnym podmienkam (3).

Pri realizácii analýzy vplyvu rýchlosti na úroveň dynamického namáhania bol úspešne aplikovaný jednoduchý program vytvorený v prostredí MATLAB – NKK.M, ktorého účelom bolo zo získaných priebehov napätí vo vybraných elementoch vytvorenie súborov postupností hodnôt napätí vo zvolenom kritickom elemente pri rozličných rýchlostiach pohybu.

Podobne sa postupovalo aj pri posudzovaní vplyvu kvality povrchu, po ktorom je nákladné vozidlo prevádzkované. Tvrdenie, že čím kvalitnejší povrch, tým nižšie reálne prevádzkové namáhanie sa potvrdilo aj pri skúmaní vplyvu kvality povrchu na dynamiku analyzovaných súčastí nákladného vozidla.

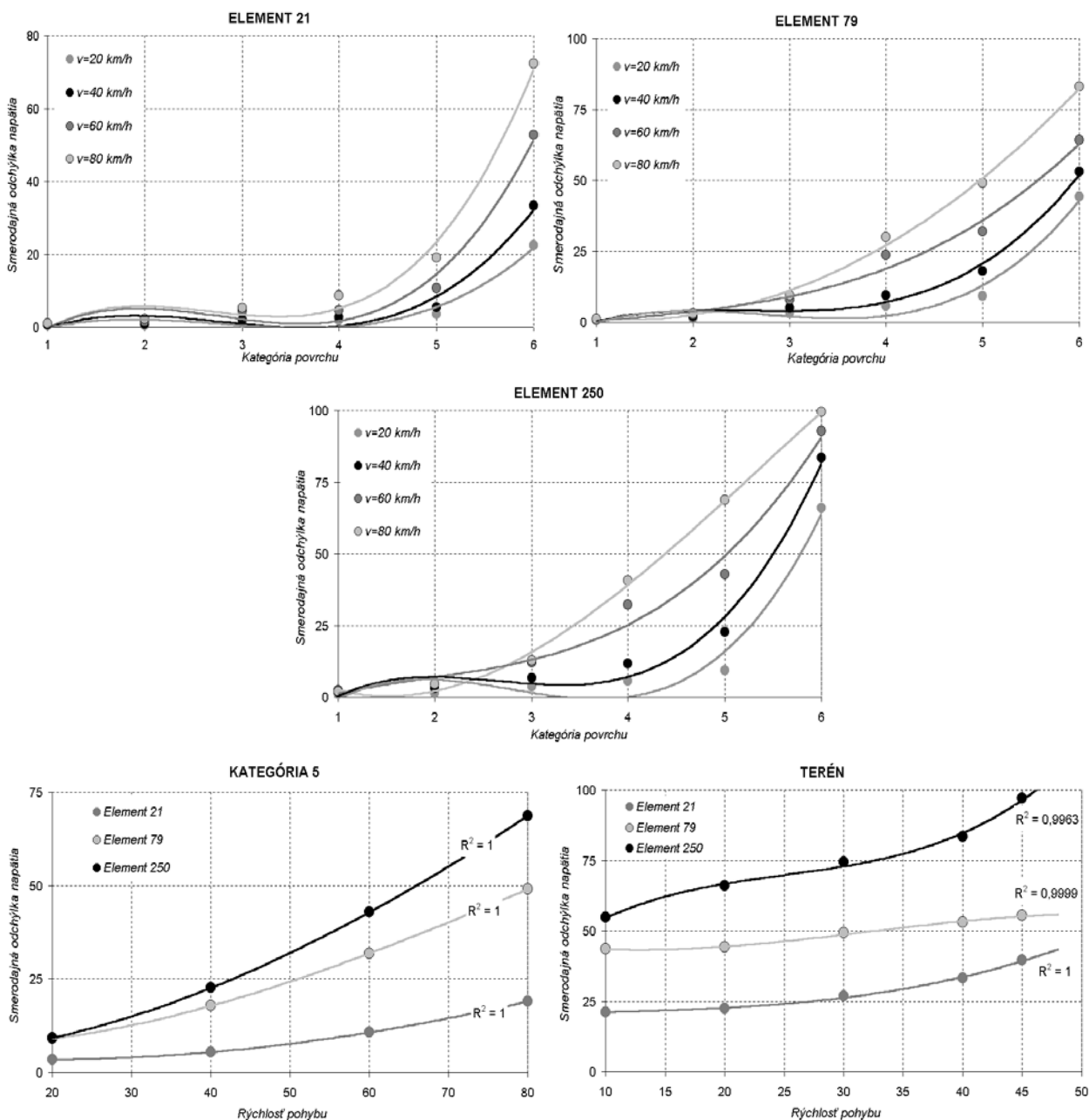


Obr. 6 : Vybrané časové úseky priebehov dynamickej zložky napätí v kritických elementoch v závislosti na kvalite povrchu a zvolenej rýchlosti

Nakoľko je pri analýze stochastických kmitov významným parametrom najmä smerodajná odchýlka boli zisťované jej hodnoty pre všetky získané priebehy napätí

(72 priebehov napätí). Na základe kvantifikovaného vyjadrenia tejto veličiny, k určovaniu ktorej bol s výhodou využitý programový produkt MATLAB, možno aplikáciou metódy najmenších štvorcov jednoducho určiť tvar a matematické vyjadrenie priebehu zmeny tejto veličiny v závislosti od konkrétnej posudzovanej prevádzkovej charakteristiky (3).

Na obr.7 je pre iba ilustráciu uvedené grafické vyjadrenie vplyvu sledovaných faktorov na túto štatistickú veličinu pre analyzované kritické elementy.



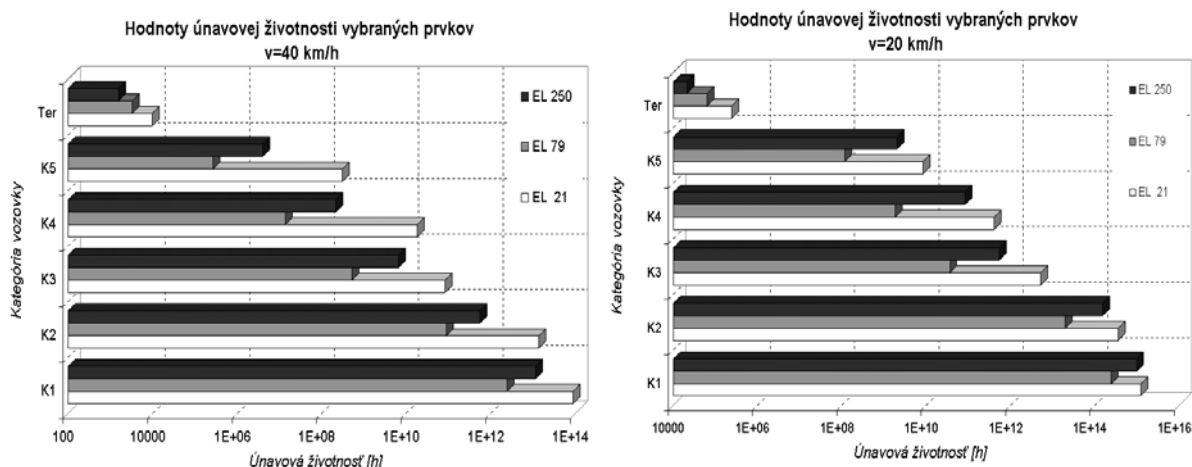
Obr.7 : Získané závislosti smerodajnej odchýlky napätí pri posudzovaní vplyvu kvality povrchu a rýchlosti pohybu na úroveň namáhania kritických častí

4. VPLYV PREVÁDZKOVÝCH PODMIENOK NA KUMULÁCIU ÚNAVOVÉHO POŠKODENIA NOSNÝCH ČASTÍ VOZIDLA

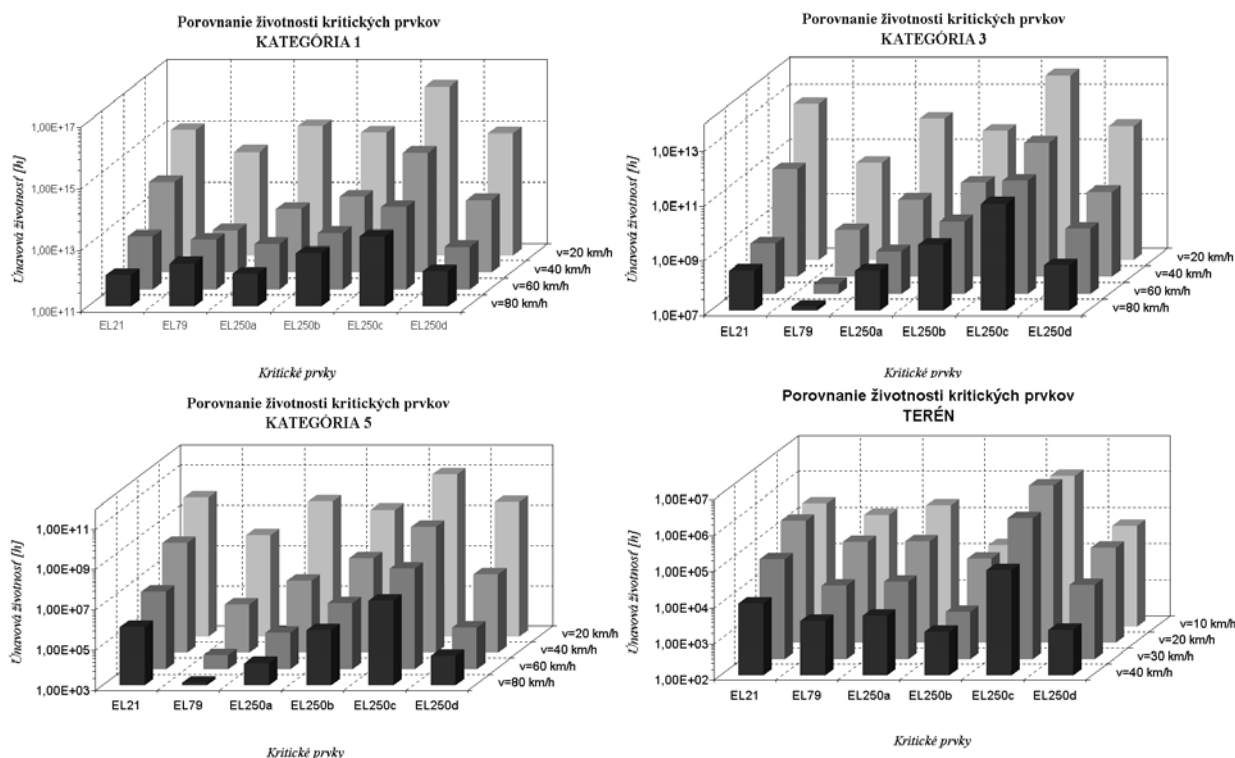
Praktická realizácia odhadu dĺžky života vybraných konštrukčných častí bola realizovaná prostredníctvom Rajcherovej metodiky, ktorá sa s obľubou využíva u dopravných strojov a zariadení (4). Na realizáciu uvedeného teoretického postupu bol vytvorený program FATIGUE.M v prostredí MATLAB.

Na základe známych teoretických súvislostí bolo potrebné k spracovaniu a samotnej praktickej aplikácii navrhovaného postupu určiť parametre, charakterizujúce najmä únavové vlastnosti materiálov analyzovaných častí konštrukcie, ako sú sklon Wöhlerovej krivky w , medza únavy σ_C , počet cyklov odpovedajúci medzi únavy N_C a medza klzu R_e a ďalšie.

Hodnota σ_C sa vo výpočtoch aktualizovala podľa Haigha na základe veľkosti strednej hodnoty napätia a bola redukovaná koeficientmi, zahrňujúcimi faktory ovplyvňujúce medzu únavy, ako tvar a veľkosť súčasti, akosť opracovania, koncentrácia napätia vo vrube, atď. (4). Grafické zobrazenie vplyvu prevádzkovej rýchlosti resp. kategórie akosti vozovky na odhadovanú dobu do poruchy, vyvolanej únavovým poškodením je uvedené na obr. 8 a 9.



Obr. 8: Porovnanie odhadnutých hodnôt únavovej životnosti kritických častí vozidla pri rozličných kvalitách povrchu a konštantnej rýchlosti pohybu



Obr. 9: Porovnanie odhadnutých hodnôt únavovej životnosti kritických častí vozidla pri rozličných rýchlostiach pohybu a rovnakej kvalite povrchu

Ako je zrejme z prezentovaných grafických výstupov, vstupný predpoklad, že obe zvolené charakteristiky (kvalita povrchu i prevádzková rýchlosť pohybu) majú významný vplyv na úroveň únavového poškodenia, bol správny. Z uvedených výstupov je tiež zrejme, že ak je povrch vozovky menej kvalitný (kategória povrchu 4, 5, terén), vznikajú výraznejšie dynamické zložky napätí, ktoré v najväčšej miere determinujú celkovú únavovú životnosť.

Podobne možno konštatovať, že pri posudzovaní vplyvu rýchlosti pohybu vozidla sa tiež potvrdili vstupné predpoklady, že so zvyšujúcou sa rýchlosťou pohybu vozidla sa adekvátne zvyšuje úroveň namáhania kritických častí, čo sa odráža najmä v znižovaní doby do poruchy spôsobenej únavovou materiálom.

ZÁVER

Z výsledkov realizovanej štúdie je možné konštatovať, že vybrané konštrukčné prvky analyzovaného nákladného vozidla sú z hľadiska únavového poškodzovania dostatočne dimenzované, pretože získané hodnoty predikcie únavovej životnosti v najexponovanejších miestach konštrukcie sú dostatočne vysoké na to, aby počas jej plánovanej doby technického života nedošlo k lomom spôsobeným cyklickým namáhaním aj v relatívne náročných terénnych podmienkach. Výsledky potvrdzujú vyhlásenia výrobcu, že dynamicky extrémne namáhané časti vozidla (nosné rámy, nápravy a ďalšie podvozkové prvky) sú skonštruované tak, aby nepriaznivé účinky dynamického namáhania iba minimálne ovplyvňovali funkciu a spoľahlivosť konštrukcie (1). Z hľadiska vplyvu vybraných režimov prevádzky na úroveň

dynamického namáhania nosných častí dopravných strojov je možné sa domnievať, že zvolené charakteristiky prevádzkových podmienok vozidiel – kvalita povrchu vozoviek a terénu, ako aj zvolená prevádzková rýchlosť - majú významný vplyv na veľkosť a charakter dynamického namáhania prvkov vozidiel a s tým súvisiacu mieru ich spoľahlivosti.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) CHOVANEC, A.: *Dependability of Simulation Modeling and Analysis*. In: State-of-the-Art in Mechatronics: Vol. II. Alpen aan den Rijn: 2010. ISBN 978-90-807898-4-5.
- (2) LEITNER, B.: *Autoregressive models in modelling and simulation of transport means working conditions*. In: Transport means: the 14th international conference: Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. 2010, s. 21-24, ISSN 1822-296X.
- (3) LEITNER, B., KELEMEN, M.: *Safety enhancement and fatigue life protection of the lorry frames carrying elements by using of its real working conditions simulation*. In: Scientific Journal „Diagnostyka“, Polish Society of Technical Diagnostics, Nr 2 (54)/2010, Poľsko, ISSN 1641-6414. <http://www.diagnostyka.net.pl/index1.php?page=83>
- (4) VAŠKO, M. a kol.: *Structure analysis and fatigue life prediction of the large scale handling device*. In: Machine dynamics research. Vol. 34, No. 4/2010, s. 102-109. ISSN 2080-9948.