

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE
Series B
The Jan Perner Transport Faculty
5 (1999)

**PREDIKCIA ÚNAVOVEJ ŽIVOTNOSTI NOSNEJ KONŠTRUKCIE
ŠPECIÁLNEHO ŽELEZNIČNÉHO ŽERIAVA PKP 25/20 i**

Bohuš LEITNER

Katedra obnovy a zatarasovania železníc, Fakulta špeciálneho inžinierstva;
Žilinská univerzita v Žiline, Slovenská republika

Úvod

Novodobý rozvoj štatistických teórií únavy priniesol podstatný pokrok taktiež do problematiky únavovej životnosti nosných konštrukcií strojov, pretože veľká rozmanitosť vlastností materiálu v rôznych miestach a prierezoch konštrukcie, relatívne zložité spektra zaťažovania a taktiež rôzne prevádzkové podmienky vyžadujú nové prístupy k riešeniu otázok týkajúcich sa životnosti a spoľahlivosti najdôležitejších častí a prvkov strojných konštrukcií vystavených premenlivému zaťaženiu.

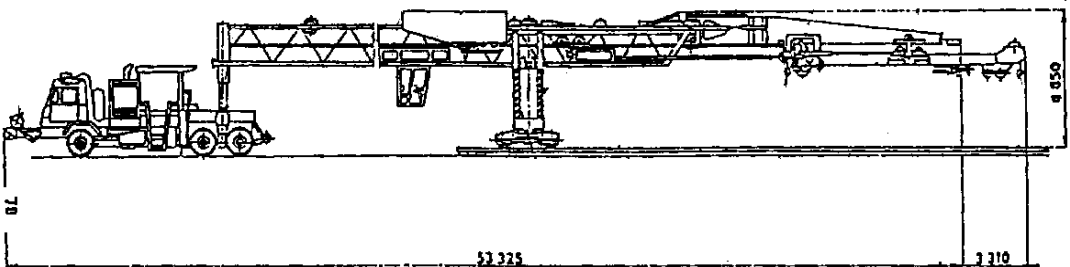
Kvantifikovaný odhad únavovej životnosti nosných konštrukcií a extrémne namáhaných častí strojných zariadení vyžaduje v zásade 3 skupiny znalostí, obsahujúcich potrebné informácie o reálnych prevádzkových zaťaženiach, dôležitých únavových vlastnostiach použitých konštrukčných materiálov a metódach, ktoré informácie z predchádzajúcich skupín uvedú do funkčných vzájomných súvislostí tzv. hypotézach kumulácie únavového poškodenia (HKÚP) [3]. Výsledkom vhodnej aplikácie uvedených znalostí bude konkrétna hodnota únavového poškodenia a odhadu zostatkovej únavovej životnosti konštrukcie, príp. jej časti, určená s istou pravdepodobnosťou.

Hlavným cieľom príspevku nie je teoretická analýza a popis vyššie uvedených skupín znalostí potrebných ku kvantifikovanému odhadu únavovej životnosti konštrukcie, ale skôr praktická aplikácia uvedených poznatkov na konkrétnu strojnú konštrukciu, prevádzkovanú v náročných prevádzkových podmienkach s cieľom posúdenia možnosti predĺženia životnosti už prevádzkovaných konštrukcií aj po dobe doporučenej výrobcom zariadenia.

1. EXPERIMENTÁLNE MERANIE PREVÁDZKOVÉHO ZAŤAŽENIA NOSNEJ KONŠTRUKCIE ŽELEZNIČNÉHO ŽERIAVA PKP 25 / 20 I

1.1 Prevádzkové podmienky činnosti PKP 25 / 20 i

Pokladač koľajových polí PKP 25/20i je zdvíhacie zariadenie skonštruované pre použitie v obmedzených priestorových podmienkach daných prejazdovým prierezom železničnej trate, ktorého účelom je ukladanie a trhanie celistvých koľajových polí o max. dĺžke 25 metrov a hmotnosti 20 t pri komplexnej rekonštrukcií, alebo obnove železničného zvršku (obr.1.) [6].



Obr. 1 Špeciálny železničný žeriav PKP 25 / 20 i

Pre výpočet životnosti do porušenia mostu pokladača, ako nosnej oceleovej konštrukcie (NOK), bolo dôležité zistenie skutočných prevádzkových podmienok s vhodným výberom typických zaťažení, na základe ktorých je možné zostavenie teoretického zaťažovacieho spektra mostu pokladača.

Pri zostavovaní charakteristického zaťažovacieho spektra mostu pokladača bolo nutné dôkladne teoreticky rozobrať jednotlivé pracovné činnosti pokladača a určiť do akej miery ovplyvňujú únavovú životnosť. Po dôkladnej teoretickej analýze jednotlivých pracovných činností boli vytipované a pracovnými cyklami charakterizované nasledovné pracovné činnosti [1]:

- trhanie koľajových polí - limitujúca činnosť stroja,
(značné zaťažovanie mostu pokladača vysokou hmotnosťou, vysoké dynamické účinky pri odtrhnutí KP od štrkového lôžka),
- ukladanie koľajových polí - limitujúca činnosť stroja,

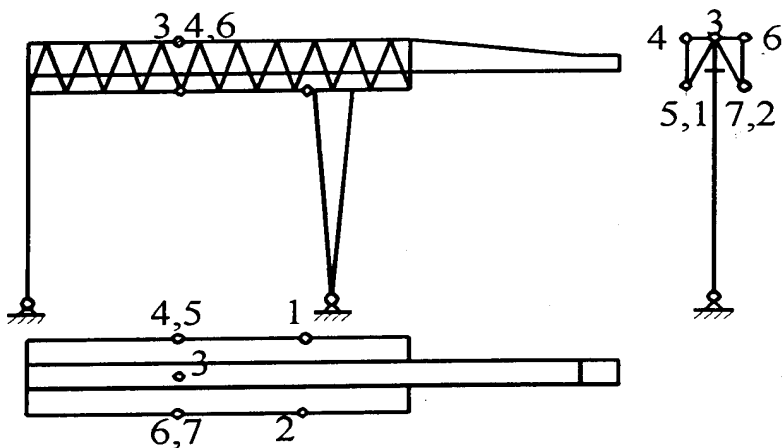
- pomocné pracovné operácie - manipulácia s podvozkami, pojazd, chod naprázdno ,
- (charakter doplňujúcich cyklov, nízky vplyv na celkovú únavovú životnosť mostu žeriava),
- presun pokladača - činnosť medzi technologickými operáciami a činnosť pred a po práci ,
(výraznejšie neovplyvňuje úroveň únavovej životnosti mostu pokladača) ,

Z analýzy prevádzkových podmienok napr. podľa [5] vyplynulo, že najnáročnejšie pracovné podmienky v technologickej činnosti pokladača sú pri trhaní starých koľajových polí a že táto činnosť, bude mať rozhodujúci vplyv na únavovú životnosť z hľadiska počtu cyklov a prevádzkového zaťaženia.

1.2 Výber podmienok merania a meracích miest

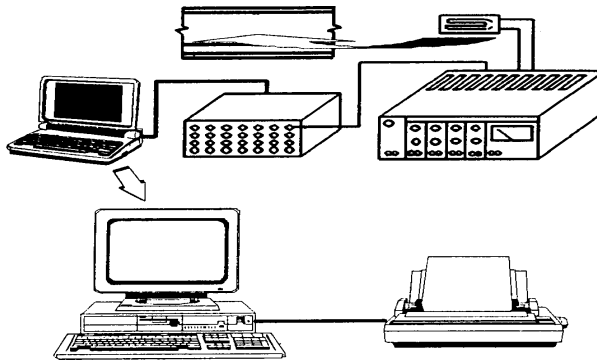
Na základe poznatkov teórie únavovej životnosti a rozboru prevádzkových podmienok bolo rozhodnuté, že experimentálne meranie bude realizované počas prevádzkovej pracovnej činnosti žeriava v reálnych prevádzkových podmienkach. Meranie bolo naplánované počas činnosti pokladača súvisiacej s technológiou obnovy železničného zvršku na úseku Borša - Slovenské Nové Mesto a zrealizované v spolupráci s Katedrou dopravných zariadení a logistiky Strojnickej fakulty TU v Košiciach.

Pred experimentálnymi meraniami bolo potrebné okrem teoretického rozboru práce pokladača, výberu a analýzy typických prevádzkových podmienok práce aj určenie kritických miest mosta pokladača. Tieto boli vybrané na základe statického výpočtu s využitím výpočtového modelu (ORION) a zodpovedajúceho software (COSMOS/M), ktorého výstupom bolo určenie miest umiestnenia tenzometrov na nosnej konštrukcii pokladača (obr.2.).



Obr. 2 Vybrané miesta aplikácie tenzometrov na moste žeriava

Meracie zariadenie bolo tvorené : tenzometrickými snímačmi typu C 120, tenzometrickou aparátúrou M 1000 so zosilňovačom signálu M 1101, zariadením na prenos údajov DAS-16 a prenosným počítačom NOTE STAR NP-943 (obr.3.).

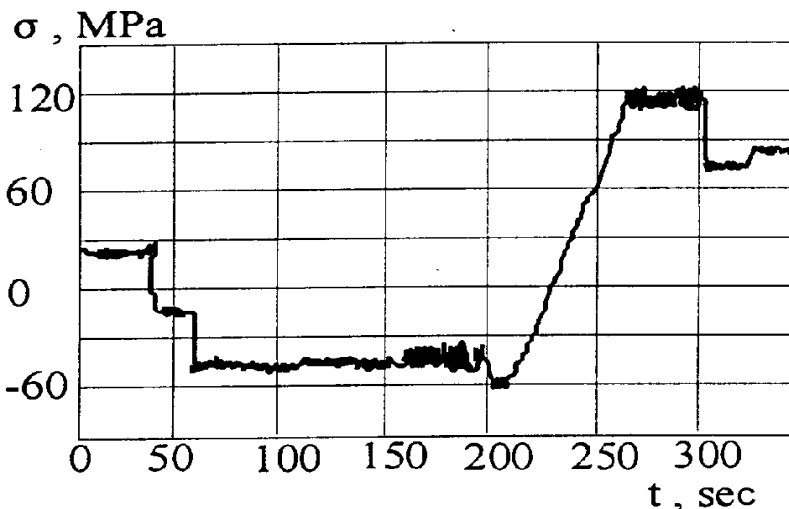


Obr. 3 Schéma zapojenia meracieho a vyhodnocovacieho reťazca

1.3 Vyhodnotenie nameraných hodnôt

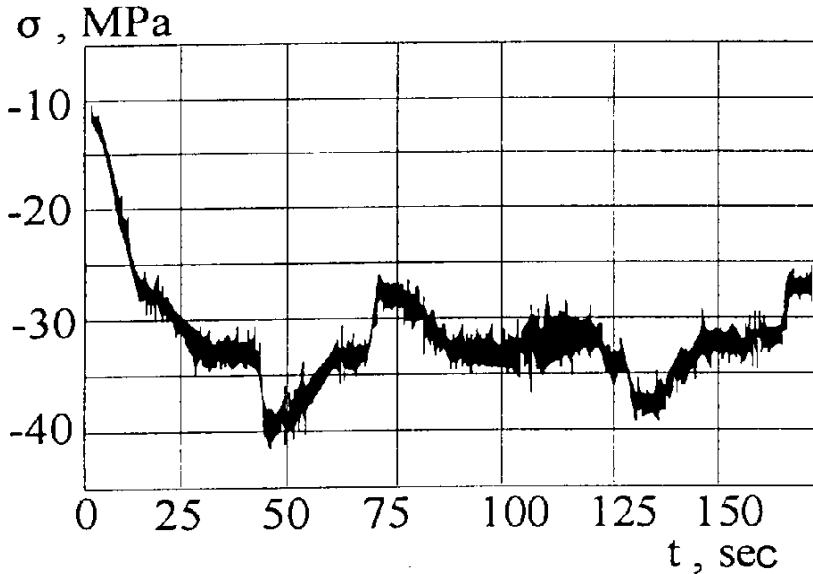
Vyhodnotením nameraných hodnôt priebehov napätí bolo zistené :

- priebeh napätí pri vytrhávaní koľajových poľí má periodický charakter; dynamické prírastky sa pohybovali v rozmedzí od 10-20 % maximálneho rozkmitu napätia, čo je takmer v súlade s normou; najvýraznejšie priebehy napätí boli zistené pri vytrhnutí, rozbehu, zastavení a položení koľajového poľa (KP); nameraná hodnota rozkmitu napätia bola v priemere 175 MPa (obr.4.).



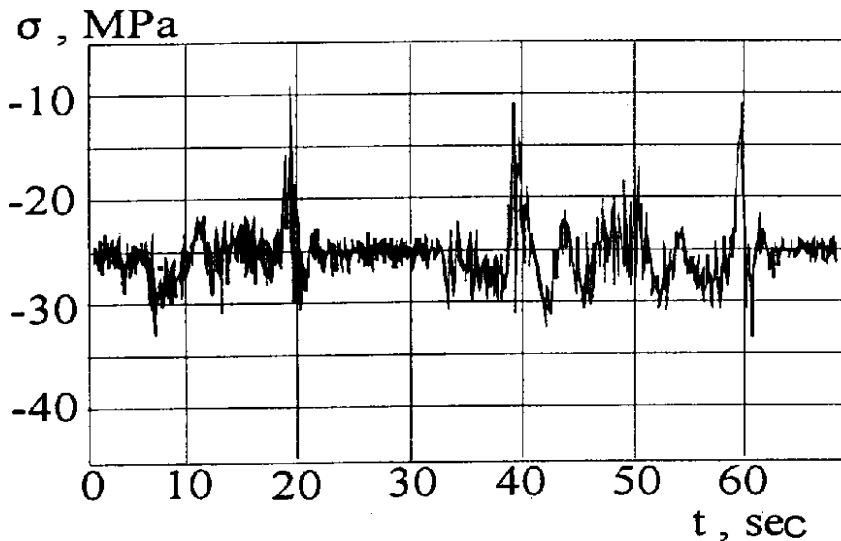
Obr. 4 Priebeh napätí pri vytrhnutí, rozbehu, zastavení a položení KP [6]

- manipulácia so železničným podvozkom pomocou otočného dielu D bola charakterizovaná nestacionárnym priebehom, pričom namerané hodnoty napätia boli v priemere 20 MPa (obr.5.).



Obr. 5 Priebeh napätí pri manipulácii so železničným podvozkom [6]

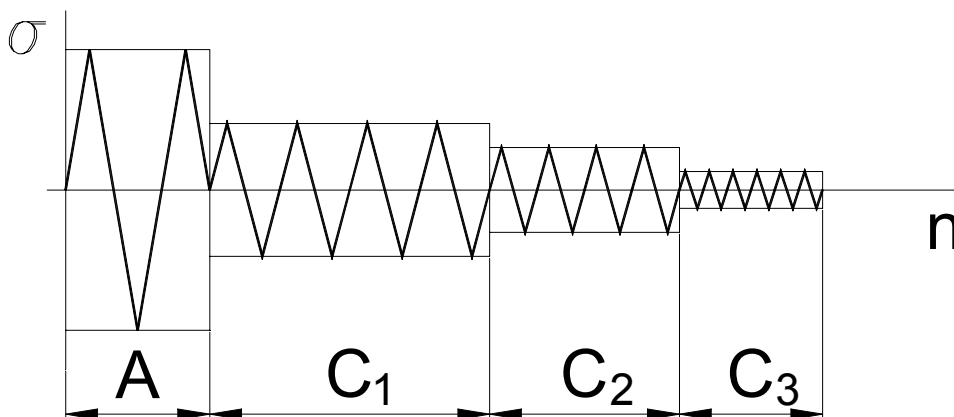
- pojazd pokladača k nasledujúcemu koľajovému poľu bol charakterizovaný nestacionárnym priebehom prírastkov napätí, pričom maximálna absolútna hodnota prírastkov napätí bola 34 MPa (obr.6.).



Obr. 6 Priebeh napätí pri pojazde pokladača k nasledujúcemu KP [6]

1.4 Spracovanie zaťažovacieho spektra

Na základe rozboru prevádzkových podmienok a vyhodnotenia experimentálne zistených prírastkov napätí pri práci pokladača bolo možné zostaviť skutočné zaťažovacie spektrum, ktoré vychádza z reálnych napätí zistených tenzometrickým meraním (obr.7).



Obr. 7 Skutočné zaťažovacie spektrum mosta pokladača v polohe „trhač“

Jednotlivé pracovné cykly predstavujú charakteristické pracovné podmienky pokladača, ktoré sú zložené z nasledujúcich pracovných cyklov :

- (A) trhanie starých koľajových polí (175 MPa)
- (C) pomocné pracovné operácie:
 - (C1) - chod mačiek naprázdno (40 MPa)
 - (C2) - presun k ďalšiemu koľajovému poľu (34 MPa)
 - (C3) - manipulácia so železničnými podvozkami (20 MPa)

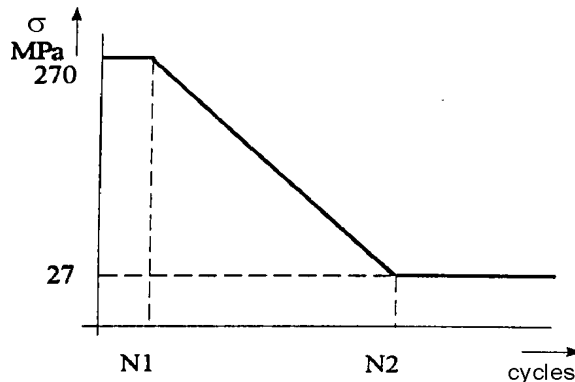
2.VÝPOČET ÚNAVOVEJ ŽIVOTNOSTI MOSTA POKLADAČA PKP 25 / 20 I

Pre určenie životnosti do porušenia je potrebné poznať Wöhlerovu krivku použitého materiálu aj s vplyvom vrubov a uplatniť vhodnú hypotézu kumulácie únavového poškodenia. Nosná konštrukcia mostu pokladača je vyrobená z nízkouhlíkovej ocele 11 523 a podľa STN 270103, kapitoly IX „Únosnosť pri únave“ je možné nakresliť Wöhlerovu krivku pre prevádzkovú skupinu II a vrubovú skupinu K4 pre daný materiál.

2.1 Výpočet životnosti do porušenia podľa Palmgrenovej - Minerovej hypotézy

Pri určovaní únavovej životnosti pomocou tejto hypotézy je použitá lineárna kumulácia únavového poškodenia a berie do úvahy iba tie hladiny nameraných napätí, ktoré majú hodnotu väčšiu ako medza únavy.

Oblasť kvázistatickej pevnosti je zdola ohraničená priamkou $N=10^4$ cyklov, oblasť časovej pevnosti je ohraničená priamkami $N=10^4$ a $N=10^7$ cyklov. Oblasť únavovej pevnosti je ohraničená zdola priamkou $N=10^7$ cyklov (obr.8).



Obr. 8 Wöhlerova krivka materiálu 11 523 pre výpočet podľa P – M hypotézy [1],[2]

Pre určenie životnosti do porušenia je zaujímavá len oblasť časovej pevnosti, ktorú je možné podľa obr.8 (pre materiál rady 52) vyjadriť v tvare [2]:

$$N = 10^{\left(6,67 - \frac{\sigma}{81}\right)} \quad (1)$$

ktorý platí pre hodnoty $10^4 < N < 10^7$, $\sigma_R = 270$ MPa, $\sigma_c = 27$ MPa.

Zistené maximálne počty cyklov do porušenia materiálu podľa Wöhlerovej krivky pre P - M HKÚP na jednotlivých hladinách namáhania obsahuje Tab 1.

Tab. 1 Maximálne počty cyklov do porušenia na jednotlivých hladinách namáhania

Poradové číslo i	Napätie σ_i v MPa	Cykly do porušenia N	Cykly za rok N_i
1	175,00	32 359,36	1 250
2	40,00	1 500 282,00	3 000
3	34,00	1 779 291,00	1 250
4	20,00	-	-

Pre nízkouhlíkovú oceľ Palmgrenova - Minerova hypotéza dáva dobré výsledky a uvažuje lineárnu kumuláciu únavového poškodenia podľa vzťahu [2]:

$$\frac{1}{T} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + K + \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (2)$$

Po dosadení do vzťahu (2) získame hodnotu životnosti mostu pokladača:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{10^4} \left(\frac{1250}{3,236} + \frac{3000}{150,028} + \frac{1250}{177,929} \right) \Rightarrow T = 24,2 \text{ roka.}$$

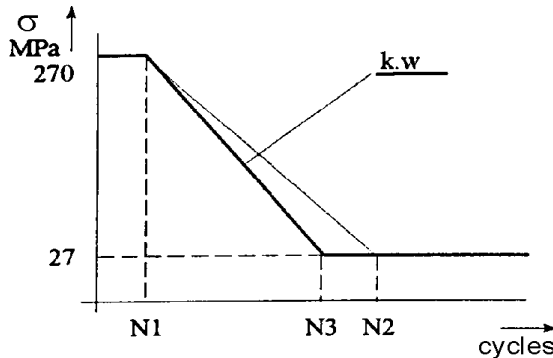
2.2 Výpočet životnosti do porušenia podľa Cortenovej - Dolanovej hypotézy

Určovanie životnosti podľa Cortenovej - Dolanovej hypotézy (C-D) vychádza z rovnakých predpokladov ako u Palmgrenovej – Minerovej (P-M) hypotézy, avšak u nízkouhlíkových ocelí s vrubom sa bod zlomu Wöhlerovej krivky výrazne posúva doľava a poškodzujúce účinky sa preto vzťahujú ku korigovanej šikmej vetve únavovej krivky s exponentom ($k \cdot w$), kde $k = 0,70 - 0,98$ (Obr.9).

Obr. 9 Wöhlerova krivka materiálu 11 523 pre výpočet podľa C – D hypotézy [1], [2]

V našom prípade je korigovaná Wöhlerova krivka vyjadrená vzťahom [2]:

$$N = 10^{\left(6,21 - \frac{\sigma}{97,2}\right)} \quad (3)$$



ktorý platí pre hodnoty $10^4 < N < 10^{6,5}$, $\sigma_R = 270$ MPa, $\sigma_C = 27$ MPa.

Zistené maximálne počty cyklov do porušenia materiálu podľa Wöhlerovej krivky pre C - D HKÚP na jednotlivých hladinách namáhania obsahuje Tab 2.

Tab. 2 Maximálne počty cyklov do porušenia na jednotlivých hladinách namáhania

Poradové číslo i	Napätie σ_i v MPa	Cykly do porušenia N	Cykly za rok N_i
1	176,00	25 679,61	1 250
2	40,00	628 749,10	3 000
3	34,00	724 779,20	1 250
4	20,00	-	-

Po dosadení do základného vzťahu (2) je možné určiť životnosť mostu pokladača :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{10^4} \left(\frac{1250}{2,568} + \frac{3000}{62,875} + \frac{1250}{72,478} \right) \Rightarrow T = 18,1 \text{ roka.}$$

Záver

Záverom je potrebné konštatovať, že aj napriek množstvu poznatkov z oblasti únavy a únavovej pevnosti, odhad kumulácie únavového poškodenia konštrukcie a tým

Bohuš Leitner:

kvantifikovaného vyjadrenia únavovej životnosti je možné vykonať iba s istou pravdepodobnosťou a za určitých podmienok.

Príčina spočíva nielen v množstve faktorov ovplyvňujúcich únavovú životnosť, ale najmä v ich vzájomných súvislostiach a interakciách. Uvedený faktor nás jednoznačne núti mnoho informácií získať experimentálne tzn. na základe vykonania prevádzkového, príp. laboratórneho experimentu, alebo prostredníctvom modelovania [4] a simulácie [7], skutočného prevádzkového zaťaženia na verifikovanom dynamickom modeli konštrukcie.

Z praktických skúseností je známe, že v oblasti identifikácie (popisu) skutočných prevádzkových zaťažení je najviac nepresností a odchýlok od skutočnosti. Je potrebné podotknúť, že výsledky teoretického a experimentálneho výskumu uvedené v príspevku nezohľadnili prípadné extrémne pracovné podmienky, ako napr. zamrznuté podložie koľajových polí, zosunutie pokladača a iné mimoriadne zaťaženia. Jedná sa v zásade o mimoriadne prevádzkové podmienky, ktoré však nemajú vážnejší vplyv na prevádzkové zaťaženie konštrukcie, pretože celkový počet cyklov je pod hranicou kvázistatického zaťaženia.

Lektoroval :Prof. Ing. Juraj Košábek, DrSc.

Predloženo v březnu 2000.

Príspevok vznikol za podpory grantovej agentúry VEGA MŠ SR prostredníctvom pridelenia grantovej úlohy č 1 / 4224 / 97 „Prevádzkové podmienky a problematika životnosti do porušenia veľkorozmerných mechanických systémov“.

Literatúra

- [1] Monoši, M. : Vplyv dynamických prírastkov napätia na životnosť ocelevej konštrukcie do porušenia. Habilitačná práca. VF VŠDS, Žilina 1996.
- [2] Monoši, M. – Várkony, L. : Degradáčne únavové procesy konštrukčných materiálov dopravných strojov a manipulačných zariadení. FŠI ŽU, Žilina 1999.
- [3] Monoši, M. – Leitner, B.: Porovnanie teoreticko-experimentálneho zistenia únavovej životnosti NOK s platnými výpočtovými normami. In : Zborník prednášok z V. vedeckej konferencie so zahraničnou účasťou „Degradácia vlastností konštrukčných materiálov únavou“, ŽU, Zuberec – Roháče 1997.
- [4] Máca, J. – Leitner, B. : Modelling of Non-stationary Processed by Means of Time Series. In : Zborník workshopu „Pokroky tvorby a využítí simulačných modelů - ASIS 98“, Krnov 1998.
- [5] Leitner, B.: Metódy hodnotenia prevádzkových podmienok strojov pre účely odhadu únavovej životnosti. Písomný projekt dizertačnej skúšky. FŠI ŽU, Žilina 1999.
- [6] Leitner, B.: A Fatigue Life Prediction of a Special Railway Crane Carrying Structure. In: Zborník prác Výskumného ústavu ŽelV RF, Moskva 1999.
- [7] Chovanec, A.: Simulácia systémov – špecifická forma procesu poznania. In: Zborník XV. Medzinárodné kolokvium „Vybrané problémy simulačních modelů“ DT, Ostrava 1993, ČR.

Resumé

PREDIKCIA ÚNAVOVEJ ŽIVOTNOSTI NOSNEJ KONŠTRUKCIE ŠPECIÁLNEHO ŽELEZNIČNÉHO ŽERIAVA PKP 25/20 i

Bohuš LEITNER

Zvárané nosné ocelové konštrukcie predstavujú svojimi špecifikami súbor konštrukcií, u ktorých má využitie poznatkov únavového namáhania rozhodujúci význam pre životnosť a bezpečnosť ich prevádzky. Optimálny konštrukčný návrh predstavuje čo najmenšiu hmotnosť pri minimálnych nákladoch a vysokých výkonoch, ale taktiež vysokú mieru spoľahlivosti. Preto moderný návrh novej konštrukcie musí vychádzať z výpočtov na únavu a s tým súvisiacou životnosťou do porušenia.

Summary

A FATIGUE LIFE PREDICTION OF A SPECIAL RAILWAY CRANE PKP 25/20i CARRYING STRUCTURE.

Bohuš LEITNER

Welded carrying steel structures present by their special characteristic a set of structures by which has the use of knowledge of fatigue stress decisive importance for their life and security of their working. An optimal design means minimal weight by minimum cost and highest possible efficiency but a high measure of reliability too. Therefore a modern design of a new structure has to rely on calculations of fatigue and with it connected fatigue life.

Zusammenfassung

PREDIKTION DER ERMÜDUNGSLEBENSDAUER VON STAHL-TRAGKONSTRUKTIONEN EINES SPEZIELLEN EISENBAHN-KRANES PKP 25/20i

Bohuš LEITNER

Geschweiste Stahl-Tragkonstruktionen stellen eine spezifische Konstruktions-gruppe dar, bei der die Anwendung der Erkenntnisse des Ermüdungs-anpruches einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer und die Sicherheitsfaktoren des Betriebes darstellen. Ein optimaler Konstruktionsvorschlag ist durch minimalen Kostenansprüchen und hoher Leistungsfähigkeit, aber auch durch eine hohe Verlässigkeitsstufe charakterisiert. Ein moderner Entwurf einer neuen Konstruktion musz deshalb aus den Ermüdungs-berechnungen und damit verbundener Lebensdauerbestimmung ausgehen.

Bohuš Leitner: