

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

ASSESSMENT OF CRANE RUNWAYS AFTER A LONG-TIME OPERATION **PRAKTICKÁ METÓDA POSÚDENIA ŽERIAVOVÝCH DRÁH PO DLHODOBEJ** **PREVÁDZKE**

Bigoš Peter¹, Trebuňa František², Ritók Juraj³, Kulka Jozef⁴

Bridge cranes fulfill functions of transport devices. They are loaded dynamically and unfavorably. During crane operation there is reduced a durability of crane runway beams. In this paper there is analyzed this problem. There is described a computing and experimental method for estimate of durability as well as residual durability. Based on obtained results there are determined criterions for suitable design adjustments of beams with regard to stress concentration and fracture risk reduction.

KEYWORDS

Crane, crane rail, durability

ÚVOD

Žeriavové dráhy (ako vodiace štruktúry) mostových žeriavov sú v intenzívnej prevádzke značne namáhané, predovšetkým ak žeriavy okrem funkcie zdvíhania bremena vykonávajú vo veľkej miere aj funkciu dopravných prostriedkov. Typickými prevádzkami, kde žeriavy slúžia aj ako dopravné prostriedky, sú prevádzky v hutníckych kombinátoch. Jedným z predstaviteľov konkrétnej prevádzky je teplá valcovňa a jej príprava vsádzky a narážacie pece. Pre riešenie uvedeného problému je vybraná konkrétna prevádzka. Usporiadanie žeriavových dráh v lodiach C-D a D-H stĺpov č. 2 až 33 je zrejme z obr. 1. Celková dĺžka žeriavových dráh je od stĺpov č.14 až 40. Nosníky žeriavových dráh sú spojené o dĺžkach 72 000 mm, 90 000 mm, 102 000 mm a 108 000 mm so vzdialenosťou stĺpov 18 000 mm a 24 000 mm. Spojité nosníky sú zvarené zo dvoch typov prierezov tvaru I-profilu.

Závažnosť riešeného problému dokumentujú prevádzkové poruchy – prasknutia nosníkov žeriavových dráh dôsledku iniciácie únavy v oblasti hliny a ich šírenia. K takej poruche došlo v lodi C-D v poli 29-30 o dĺžke 24 000 mm na dráhe D, pričom spojený nosník je dlhý

¹ Prof.Ing. Peter Bigoš, CSc: Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 041 87 Košice, e-mail: peter.bigos@tuke.sk

² Prof.Ing. František Trebuňa,CSc.: Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 041 87 Košice, e-mail: frantisek.trebuna@tuke.sk

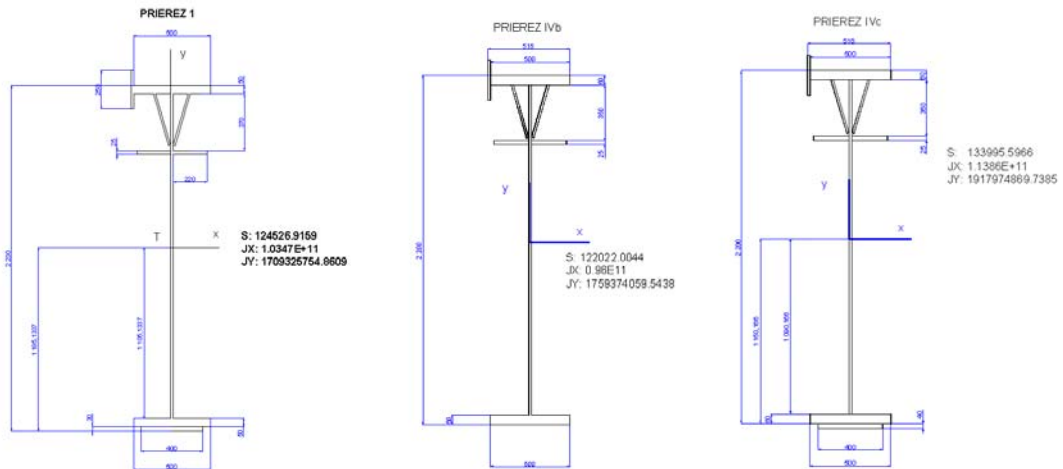
³ Ing. Juraj Ritók,PhD.: Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 041 87 Košice, e-mail: juraj.ritok@tuke.sk

⁴ Ing. Jozef Kulka,PhD.: Technická Univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 9, 041 87 Košice, e-mail: jozef.kulka@tuke.sk

102 000 mm a je uložený medzi stĺpmi 29 až 34. Pole medzi stĺpmi 29-30 je zvláštne tým, že je zvarené z troch typov prierezov označených I, IVb, IVc. Tieto prierezy a ich geometrické charakteristiky sú na obr.2.



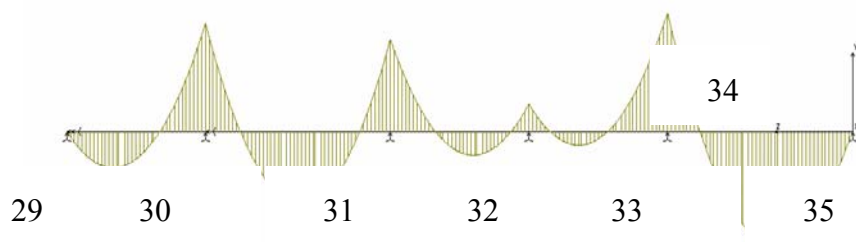
Obr. 1. Usporiadanie žeriavových dráh



Obr.2 Prierezy nosníka a ich geometrické charakteristiky

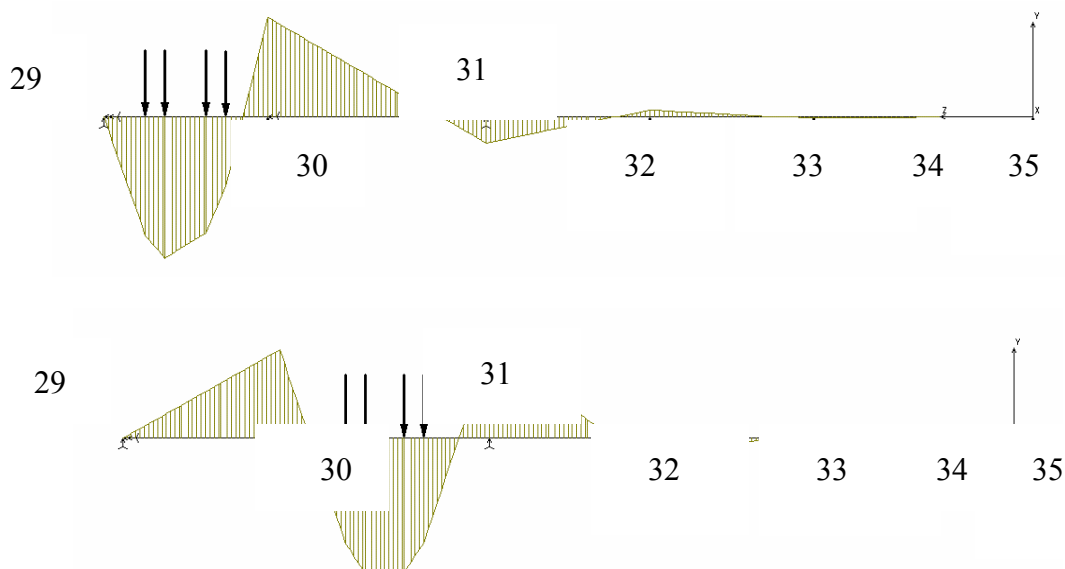
VÝPOČTOVÁ ANALÝZA SPOJITÉHO NOSNÍKA ŽERIAVOVEJ DRÁHY

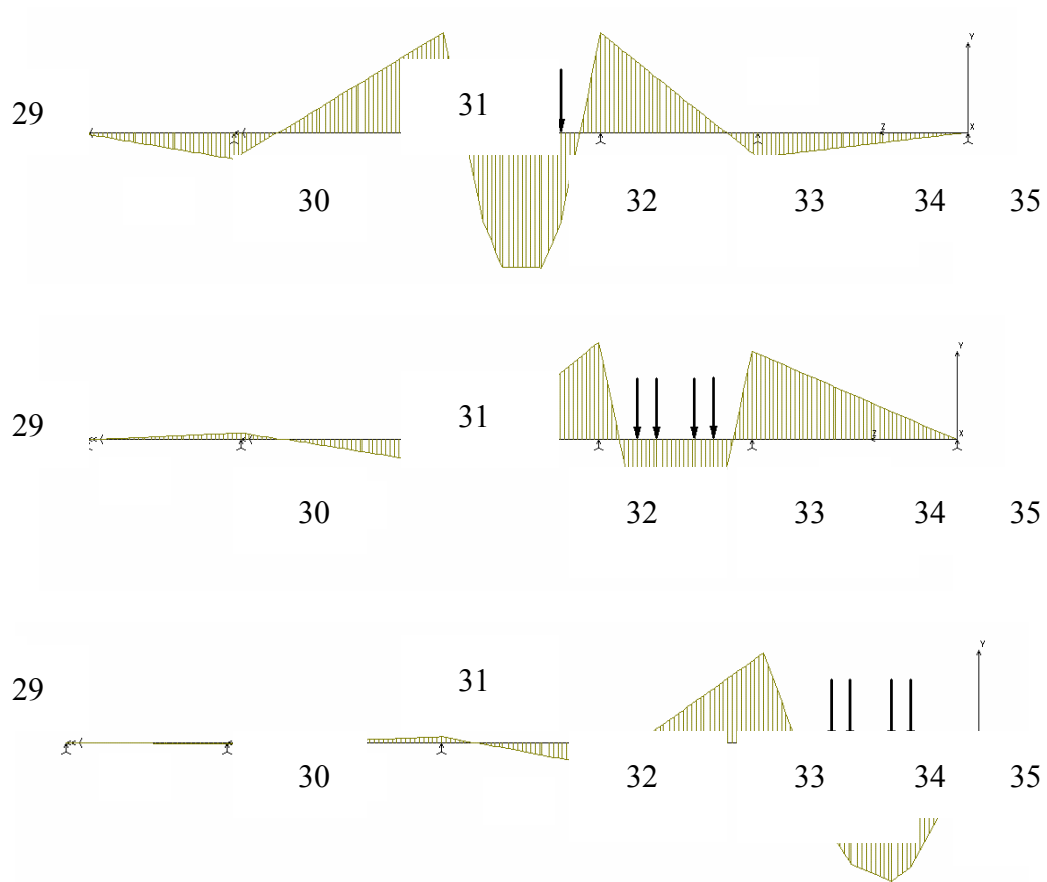
Analýza vnútorných silových veličín celého spojitého nosníka pri rôznej polohe žeriava v uvedenom poli bola uskutočnená programom COSMOS-M. Pri analýze sa za náhodné zaťaženie považovali kolesové tlaky žeriava, 524 kN na jedno koleso, bez uvažovania normových súčinitľov podľa statického výpočtu získaného od užívateľa. Priebehy ohybových momentov od vlastnej tiaže spojitého nosníka s prierezmi podľa obr.2 sú na obr.3. Na obr.4 sú priebehy ohybových momentov od kolesových tlakov pri rôznej polohe žeriava 63 t. Z obr. 4 vyplýva, že najpriaznivejšie je namáhané 24 000 mm pole medzi stĺpmi 29-30.



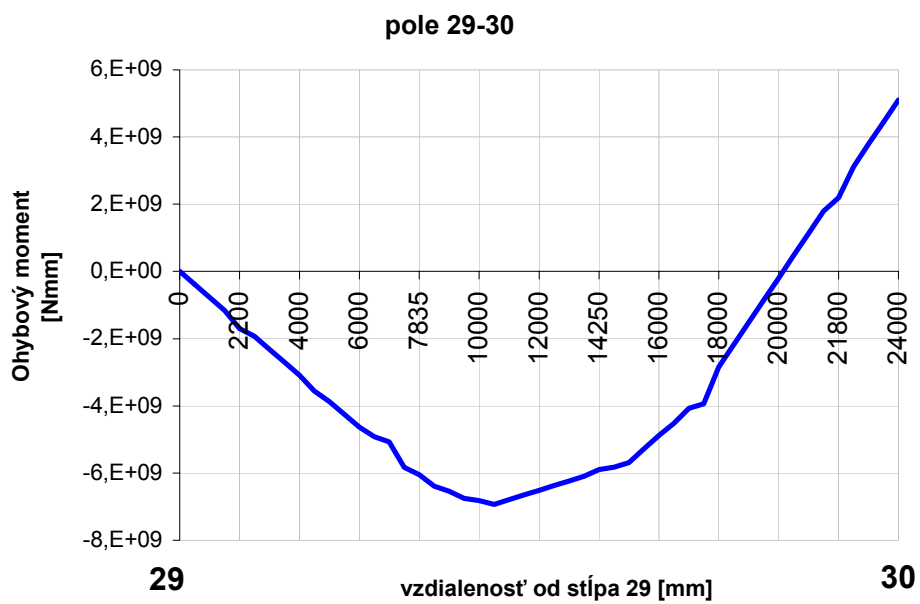
Obr.3

Vo vybranom poli 29-30 (24 000 mm) pomocou vplyvových čiar sa určila najnepriaznivejšia poloha žeriava z hľadiska najnepriaznivejšieho namáhania. Priebeh ohybového momentu v tomto poli je na obr.5.





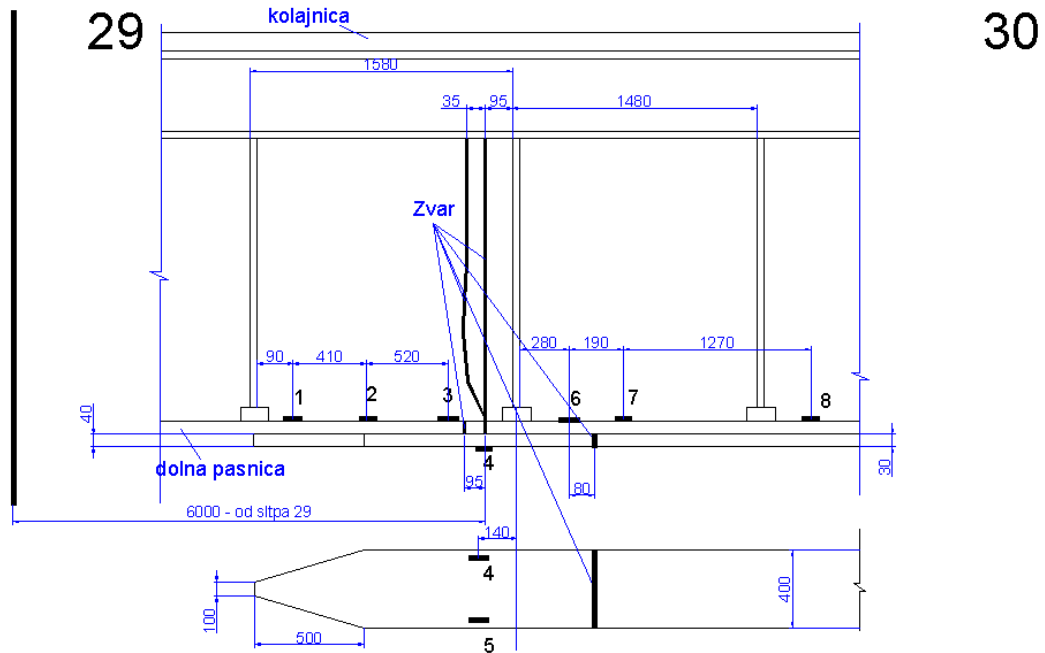
Obr.4 Priebehy ohybových momentov od kolesových tlakov pri rôznej polohe žeriava 63t.



Obr.5. Priebeh ohybového momentu

TENZOMETRICKÉ MERANIE A VYHODNOTENIE

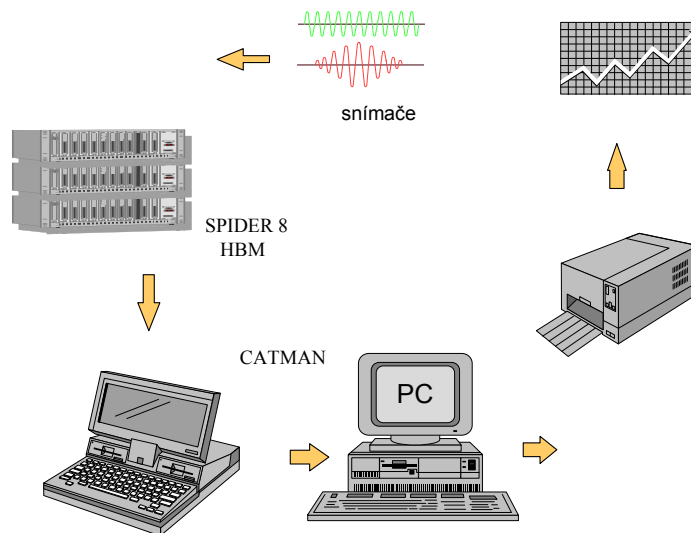
Na základe predchádzajúcej teoretickej analýzy a vizuálnej obhliadky žeriavovej dráhy bola navrhnutá metodika experimentálneho určenia deformácií a z nich vyplývajúcich napätí. Miesta aplikácie snímačov v poli 29-30 na dráhe D sú na obr. 6. Miesta boli vybrané s ohľadom na odhady zvyškovej životnosti nosníka.



Obr.6 Miesta aplikácie snímačov

Z obr. 6 je zrejmé, že bolo aplikovaných 8 snímačov, z ktorých 6 (1,2,4,6,7,8) bolo použitých pre vyhodnotenie merania.

Pre meranie boli použité tenzometrické snímače HBM XY 91 s ohmickou hodnotou 120Ω s konštantou deformačnej citlivosti 2,03. Aplikácia snímačov bola vykonaná tenzometrickým tmelom HBM X 60. Prepojenie snímačov s meracím prístrojom bolo vykonané tienenými vodičmi. Merací reťazec a zároveň reťazec pre vyhodnotenie bol realizovaný podľa obr.7.



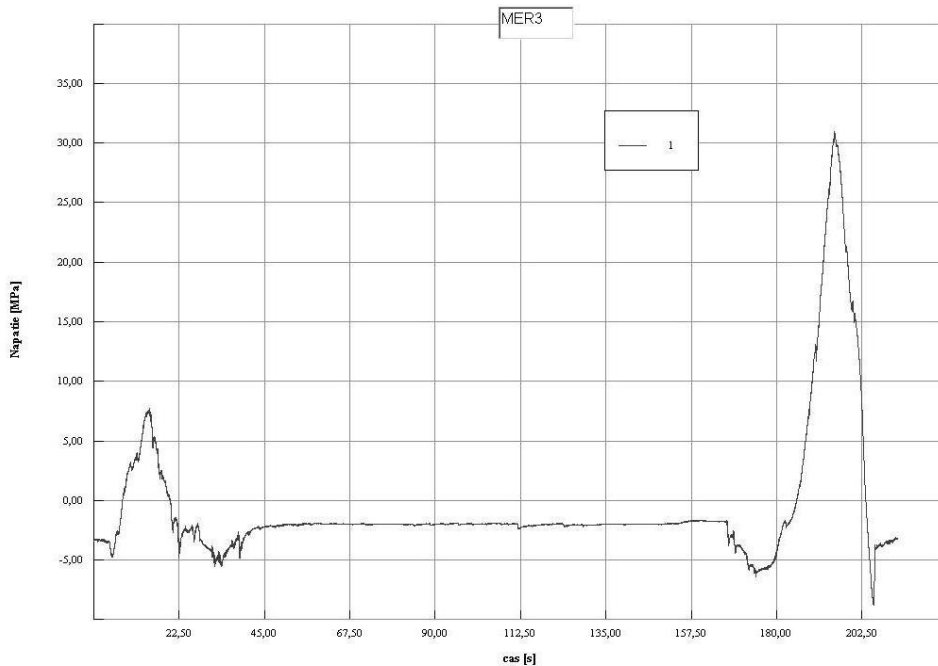
Obr.7. Merací a vyhodnocování reťazec

Merací reťazec a zároveň A/D prevodník tvorí SPIDER 8 od fy HBM. V súčasnosti predstavuje špičku v tenzometrických dynamických aparatúrach. Po vyvážení aparatúry boli snímače 1 až 8 (obr.6) zakonzervované ochranným povlakom SG (f.HBM).

Z nameraných hodnôt prírastkov pomerných deformácií pri jednotlivých režimoch marenia softvérom CATMAN boli vyhodnotené a tlačou zobrazené časové zmeny prírastkov normálových napätí v miestach podľa obr.6. Bolo vykonaných rad meraní pri rôznych piatich režimoch merania.

Uvádza sa len najnepriaznivejší režim merania, kedy žeriav s bremenom o hmotnosti 61 590 kg prichádza od stĺpa 28 ku stĺpu 29 (obr.1) a mačka s bremenom je pri rade C, za stĺpom č.34 (obr.1) mačka s bremenom sa presúva k rade D a žeriav sa vracia späť za stĺp 28.

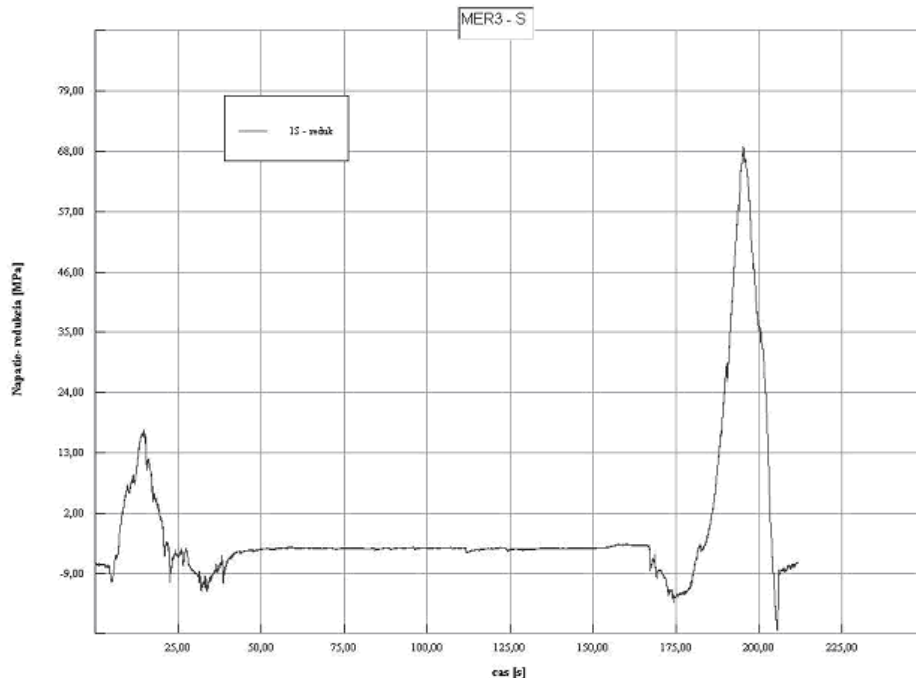
Nameraný časový priebeh prírastkov normálových napätí v mieste merania 1 (obr.6) je pre tento režim uvedený na obr.8.



Obr.8 Časový priebeh normálového napätia v mieste merania1.

Podľa obr.5 najväčší ohybový moment je v priereze vzdialenom 10 477 od stĺpa 29. Pretransformované prírastky napätia v najviac namáhanom priereze určené z nameraných priebehov napätí v jednotlivých miestach vykazujú hodnotu až 86 MPa. Uvedený priebeh transformácie je zobrazený na obr.9. Pri zohľadnení ohybového momentu od vlastnej tiaže výsledné normálové napätie neprekročí v najviac namáhanom priereze 100 MPa.

Z hľadiska posudzovania pevnosti dá sa konštatovať, že nie sú prekročené normou stanovené návrhové pevnosti materiálu.



Obr.9. Transformovaný nameraný priebeh napätia do najviac namáhaného prierezu.

ODHAD ZVYŠKOVEJ ŽIVOTNOSTI

Za účelom odhadu zvyškovej životnosti nosníkov žeriavových dráh popri skutočných nameraných časových priebehov namáhania pri skutočných prevádzkových režimoch sa využívajú poznatky uvedené v norme STN 73 1401 „Navrhovanie oceľových konštrukcií“ platnej od marca 1998.

Podľa kapitoly 8.7 STN 731401 pri namáhaní konštrukčného detailu normálovými napätiami s konštantným rozkmitom $\Delta\sigma$ sa únavová životnosť vypočíta podľa kriviek na obr.10 zo vzťahu:

$$\text{ak } \Delta\sigma_M \cdot \varphi > \Delta\sigma \cdot \gamma_{Ff} \geq \Delta\sigma_D \cdot \varphi,$$

$$\text{potom } N = 2 \cdot 10^6 \left[\Delta\sigma_D \cdot \varphi / \Delta\sigma \cdot \gamma_{Ff} \right]^3 \quad (1)$$

$$\text{kde } \varphi = \frac{\varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf}}, \quad \text{pričom} \quad (2)$$

γ_{Ff} je parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavového zaťaženia,

γ_{Mf} je parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavovej pevnosti,

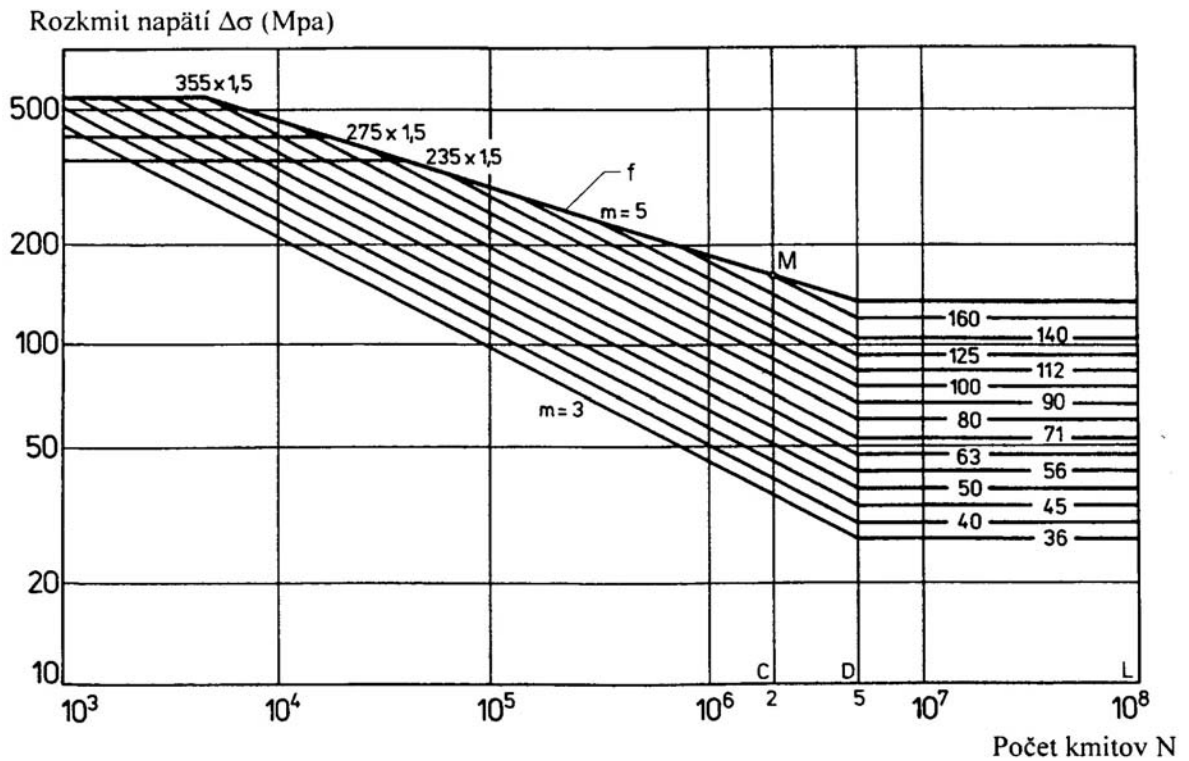
φ_r je súčiniteľ nesúmernosti,

φ_t je súčiniteľ vplyvu hrúbky,

$$\varphi_t = \left(\frac{25}{t}\right)^{0,25}, t > 25\text{mm}. \quad (3)$$

Rozkmit napätí $\Delta\sigma \cdot \gamma_{Ff} < \Delta\sigma_D \cdot \varphi$ sa neuvažujú. Hodnoty $\Delta\sigma_D$ sú zrejmé z obr.10.

Krivky podľa obr.10 sa uvažujú s pravdepodobnosťou prežitia 95%.



Obr.10 Krivky únavovej pevnosti pre rôzne kategórie detailov (KD)36, 45, ... , 160

V tabuľke 1 sú uvedené údaje množstva zmanipulovaného materiálu v tonách podľa rokov, vybrané z konkrétnej prevádzky. V tab.2 sú prepočítané cykly za roky 1989 až 1994 a roky 1995 až 2001 podľa tabuľky 1.

Tabuľka č.1

Rok	Vsádzka	Prísun z PH	zo ZPO	% činnosti
1989	3 307 878	2 745 622	558 011	* 34 % vsádzky neprešlo cez tieto ŽD
1990	3 306 805	2 771 019	531 817	(11% vsádzky bol priamy žiar,
1991	3 012 972	2 272 981	752 782	23% vsádzky bol priamy sled cez
1992	3 327 831	1 780 000	1 499 914	krokový dopravník)
1993	3 301 495	984 265	2 075 100	
1994	3 441 072	1 129 760	2 258 601	* 66% vsádzky potrebovalo 4 manipulácie
1995	3 443 158	390 703	3 003 585	
1996	3 255 739	2 140	3 263 525	20 % vsádzky potrebovalo 1 manipuláciu
1997	3 441 871	0	3 442 110	80 % vsádzky potrebovalo 2 manipulácie
1998	3 047 204	0	3 048 079	
1999	3 326 194	0	3 326 194	
2000	3 392 632	0	3 392 632	
2001	3 609 273	0		detto

Tabuľka č.2

Roky	Cykly			
	Vsádzka	Prísun z PH	Prísun zo ZPO	Spolu prísun
1989 až 1994	312668	185455	121845	307300
1995 až 2001	364742	6208	309145	315353
spolu	677410	191663	430990	622653

ZVYŠKOVÁ ŽIVOTNOSŤ V MIESTE NAJVÄČŠIEHO OHYBOVÉHO MOMENTU

Z transformácie nameraných priebehov do miesta maximálneho ohybového momentu podľa diagramu na obr.9 vyplýva maximálny rozkmit napätia

$$\Delta\sigma = 86MPa \text{ (pozri časový úsek 175s až 225s z obr.9).}$$

Podľa obr.2 prierez IVb je hrúbka $t = 60$ mm a preto podľa rovnice (3)

$$\varphi_t = \left(\frac{25}{60}\right)^{0,25} = 0,8034,$$

$$\varphi_r = 1,0,$$

$$\gamma_{Mf} = 1,2.$$

Podľa rovnice (2) $\varphi = 0,669523$.

V zmysle prílohy Tab. K2 STN 73 1401 uvažuje sa v mieste vzdialenosti od stĺpa 29 smerom ku 30 o 10 477 mm s číslom detailu 206 a kategória 125.

Z obr.10:

$$\Delta\sigma_{M,KD} = 232MPa,$$

$$\Delta\sigma_D = 92MPa,$$

$$\Delta\sigma_L = 51MPa.$$

V tomto prípade sa uvažuje so súč. $\gamma_{Ff} = 1,0$.

Podľa rovnice (1) životnosť:

$$N = 2 \cdot 10^6 [92 \cdot 0,66952 / 86 \cdot 1,0]^3.$$

$N = 734\,833$ cyklov na dráhach.

Z tab.2 vyplýva na dráhach najväčší počet prejazdov (cyklov) 677 410.

Zvyšková životnosť:

$N_{ZV} = N - 677\,410 = 57\,423$ cyklov, čomu odpovedá v tabuľke č.1 resp. 2 stĺpec vsádzka cca. 3 617649 t, teda približne rok prevádzky.

ZVYŠKOVÁ ŽIVOTNOST' V MIESTE NAJNEPRIAZNIVEJŠIEHO VRUBOVÉHO PRÍPADU

V zmysle prílohy Tab.K4 STN 73 1401 je najnepriaznivejší vrubový prípad odpovedajúci ČD 418 resp. 419. Namerané napätia sú na obr.8, teda podľa obr.6 na snímači č.1. Najväčší rozkmit $\Delta\sigma = 40MPa$

Podľa rovnice (3) a obr.2 pre prierez I:

$$\varphi_t = \left(\frac{25}{50}\right)^{0,25} = 0,84089 \text{ a podľa rovnice (2) pri } \gamma_{Mf} = 1,2 \text{ a } \varphi_r = 1,0,$$

$$\varphi = 0,7$$

Pretože skutočnosť nezodpovedá ani jednej z uvedených kategórii (418 alebo 419), lineárnou interpoláciou sa dospelo ku kategórii detailu 56, ktorej odpovedajú z obr.10 hodnoty:

$$\Delta\sigma_{M,K} = 452MPa,$$

$$\Delta\sigma_D = 41MPa,$$

$$\Delta\sigma_L = 23MPa.$$

Pri uvážení $\gamma_{Ff} = 1,2$ podľa rovnice (1) životnosť:

$$N = 2 \cdot 10^6 [41 \cdot 0,7 / 40 \cdot 1,2]^3$$

$$N = 427\,515$$

Z tabuľky č.2 vyplýva, že po oprave počet prejazdov od roku 1995 do roku 2001 je 362 742.

Zvyšková životnosť:

$N_{ZV} = N - 362\,742 = 64773$, čomu odpovedá vsádzka cca 4 080 699 t, teda asi ešte 1 rok prevádzky.

ZÁVERY

Na základe analýzy výsledkov z meraní, transformácie nameraných priebehov do miest extrémnych namáhání, po zvážení súčasne platných noriem a záverov expertízneho posúdenia stavu ocelevej konštrukcie žeriavových dráh s väzbou na históriu zaťažovania určenú z podkladov z technického zadania sme dospeli k nasledujúcim záverom:

1. Nevhodnosť konca príložky bola potvrdená poruchou na žeriavovej dráhe, čo je dokumentované miestom iniciácie trhliny na pásnici, ktorá prešla až do stojiny.
2. Súčasný tvar konca príložky spôsobuje zvýšenú koncentráciu napätí, čo vyplýva z priebehov nameraných prírastkov napätí na snímači č.1 (obr.6).
3. Odstránenie nežiadúceho účinku je definované normou STN 73 1401 podľa prílohy tab. K4, číslo detailu ČD 419.
4. So zreteľom na namerané hodnoty napätí a ich transformáciou do miesta extrémneho namáhania pri danej kadencii cyklov zaťaženia (počet prechodov žeriava cez extrémne namáhané polia s definovanou veľkosťou zaťaženia) zostatková životnosť určená pre miesto najnepriaznivejšieho vrubového prípadu a v mieste najväčšieho ohybového momentu neprekračuje v podstate obdobie jedného roka.
5. Na základe uvedených skutočností je možné vysloviť záver, že žeriavové dráhy v priebehu roka je nutné pripraviť na výmenu.
6. Aj keď tenzometrické meranie bolo vykonané len v poli medzi stĺpmi 29-30 rady D, s výmenou je nutné uvažovať vo všetkých poliach s rovnakými prierezmi.

LITERATÚRA

- [1] Bigoš, P. a kol.: *Tenzometrické meranie žeriavových dráh v lodiach C-D, D-H stĺpy č. 14-40 v prevádzke narážacie pece a príprava vsádzky na DZ TV*. Expertízna správa, Strojnícka fakulta TU Košice, 2002, 74 s.
- [2] Trebuňa, F., Bigoš, P.: *Intenzifikácia technickej spôsobilosti ťažkých nosných konštrukcií*. Viena 1998, s.345, ISBN 80-96 7325-3-6.
- [3] *STN 73 1401 Navrhovanie ocelových konštrukcií*.
- [4] *Technická dokumentácia k žeriavovým dráham, statický výpočet, návrh montážnej úpravy nosníkov žeriavovej dráhy*.