EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

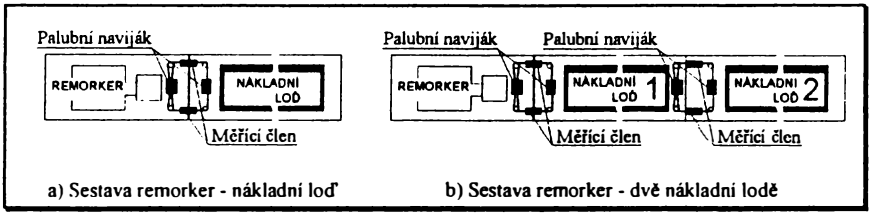
MEASURING OF COUPLE FORCES
MĚŘENÍ SPŘAŽNÝCH SIL

Řezníček J., Růžička M.

In this paper it is presenting development, production and practical using of force measuring element. In the conclusion they are described results of couple forces measuring, which was realized last year on remorkers and coal ships on Labe by Ústí nad Labem. The discusion of this results leads the Research Institut of Transport to revision of theoretical results based on numerical analysis of ships moving in flow.

Úvod

V loňském roce bylo naše pracoviště - **katedra pružnosti a pevnosti strojní fakulty ČVUT v Praze** - přizváno k měření spřažných sil lodí, které prováděl Výzkumný ústav dopravní v Praze (VÚD). Cílem těchto měření bylo stanovit síly, které vznikají ve spojovacích lanech při spřažení tlačného remorkeru s nákladní lodí. Jednalo se o soupravy, které provozuje Česká plavba labská a které dopravují hnědé uhlí po Labi do elektrárny ve Chvaleticích. Dalším požadavkem VÚD bylo stanovení spřažných sil při manévru soupravy tvořené tlačným remorkerem a dvěma nákladními loděmi. Zde se jednalo nejprve o stanovení sil ve spoji remorker - nákladní loď a ve druhé fázi o stanovení spřažných sil mezi první a druhou nákladní lodí. Schéma spojení remorker - nákladní loď/lodě je patrné z **Obr. 1**.

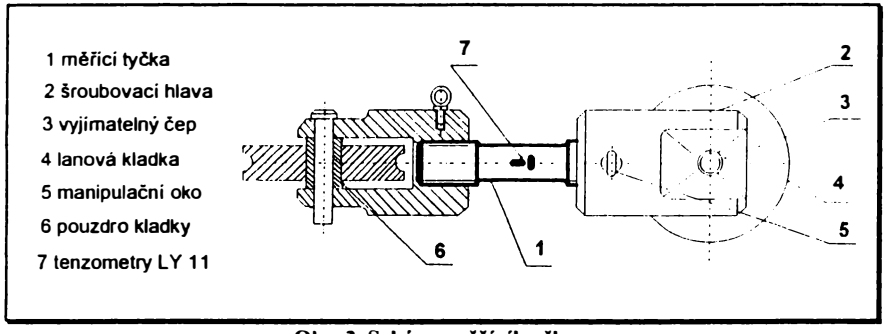


Obr. 1 Schéma prováděných měření

Návrh měřícího členu

Na základě teoretického rozboru a podle počítačového modelu sestaveného ve VÚD měly měřené síly dosahovat až 700 kN, což se blíží mezní únosnosti používaných lan. Dalším limitujícím faktorem při návrhu siloměrů byla jejich snadná rozebiratelnost s možností jednoduchého vložení do lanové smyčky. Siloměr musí dále umožňovat volné napínání

spojovacích lan, které se provádí pomocí navijáků umístěných na palubách remorkeru a nákladních lodí. Pro splnění všech těchto požadavků byla navržena konstrukce tvořená dvěma úchytnými hlavami opatřenými kladkou s vyjímatelným čepem. Tyto hlavy jsou opatřeny závity pro zašroubování měřícího prvku, kterým je tyč opatřená na koncích závity. Konstrukce (viz. **Obr. 2**) umožňuje snadnou manipulaci s jednotlivými díly a jejich jednoduché sestavení do konečné podoby přímo na palubě lodi. Rozměry čepů a závitů byly voleny s ohledem na maximální očekávané namáhání F_{max} = 700kN. Použité kladky byly kromě toho ještě navrhovány s ohledem na podmínky ohybu použitých lan. S ohledem na možné otlačení při maximálním namáhání byly čepy dodatečně tepelně zpracovány a broušeny podle velikosti kladkových pouzder. Vlastní měřící tyč byla vyrobena z vysokopevnostní oceli a dimenzována s bezpečností vzhledem k mezi kluzu při maximálním očekávaném namáhání. Elektrické zapojení měřícího členu bylo voleno celomostové pro úplnou teplotní kompenzaci a dále pro eliminaci případného ohybového namáhání. Byly použity tenzometry LY 11 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik. Po nainstalování byly tenzometry zakryty běžným způsobem a celá měřící část byla zapouzdřena. Vývody byly napojeny na konektor, který umožňuje přímé připojení snímače originálním kabelem k tenzometrické aparatuře.



Obr. 2 Schéma měřícího členu

Měřící program

Zadavatelem byl přibližně dán i systém prováděných zkoušek. Podle něho má každé jednotlivé měření tři fáze. V první je souprava navedena do plavební dráhy, kde dojde k vyrovnání do přímého směru a ke stabilizaci rychlosti soupravy. Ve druhé fázi proběhne normovaný manévr se soupravou, který sestává z několika náhlých změn směru jízdy natočením pohonných trysek remorkeru o přesně definovaný úhel. Ve třetí fázi je souprava opět navedena do plavební dráhy, vyrovnán směr a rychlost. Z tohoto schématu byly jako vztažné stavy soupravy zvolena první a třetí fáze, kdy se jedná prakticky o "stacionární" hodnoty sledovaných spřažných sil. Vzhledem k těmto stavům a zejména k počátečnímu jsou pak posuzovány všechny změny k nimž dojde v průběhu normovaného manévru. Vlastní měřící program měl tedy také tři části. Po spuštění programu a počátečních rutinách, kdy je zadán název měření a nastaveny parametry, přejde program do stavu automatického odečtu dvou kanálů s frekvencí cca 5Hz s přímým IN TIME zobrazováním měřených dat na monitoru. Na příkaz obsluhy po započetí první fáze měření jsou data každé tři vteřiny ukládána na disk. Celá tato první fáze trvá zhruba tři minuty. Po dalším zásahu obsluhy cca 15 vteřin před začátkem druhé fáze měření - normovaného manévru - je program uveden do stavu permanentního zápisu, kdy jsou všechny naměřené hodnoty zapisovány na disk. Tato fáze trvá cca 45 až 90 vteřin

podle charakteru manévru. Asi 15 vteřin po ukončení manévru je opět na pokyn obsluhy program převeden do "pomalé" verze, kdy po dobu asi jedné minuty zaznamenává měření každé tři vteřiny. Tyto četnosti měření se ukázaly pro daný účel jako dostatečné. Datové soubory ukládané na disk byly již připraveny pro další zpracování, a tak kromě naměřených hodnot obsahovaly ještě číslo měření, relativní čas měření vzhledem k jeho počátku a informaci o absolutním čase počátku a konce měření. Jako další parametry byly pro informaci do souborů zaznamenávány časy průjezdů kontrolními místy, která byla dána spojnicí značek vytyčených na břehu.

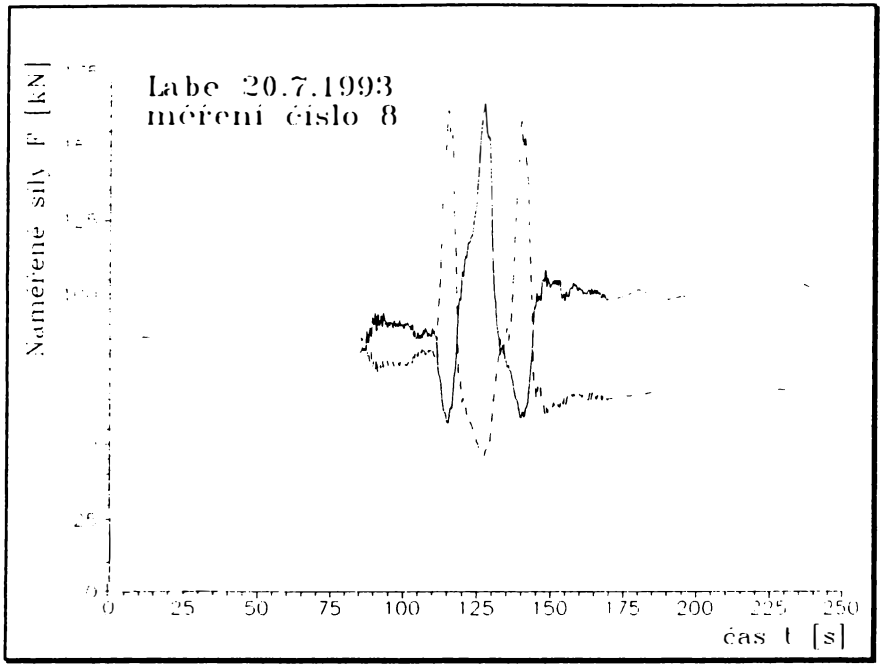
Vlastní měření

Měření probíhala počátkem července 1993 na Labi. K dispozici byly tři remorkery (jeden delší konstrukce a dva kratší, běžně používané při dopravě energetického uhlí po Labi) a dvě plně naložené nákladní lodi (každá zhruba 140 t uhlí). K měření byl vybrán úsek Labe u Ústí n.L. nad střekovskou přehradou, který vyhovoval podmínkám měření relativně malým proudem Labe a i šířka zde umožnila provádět normované manévry. Nejprve byly složeny měřící členy a vloženy do smyček spřažných lan. Poté byla běžně používaným způsobem spojena nákladní loď s tlačným remorkerem. První měření byla pouze informativní a sloužila hlavně k otestování měřícího řetězce. Měření probíhala vždy opakovaně pro možnost statistického zpracování, a to jak při jízdě po proudu tak i proti proudu. Již první výsledky ukázaly, že mezi těmito dvěma směry nebudou podstatné rozdíly, což bylo dáno vhodnou volbou místa měření. Dále se však ukázalo, že maximální dosahované hodnoty se ani zdaleka neblíží hodnotám teoretickým udávaných zadavatelem. Protože se nepotvrdilo očekávané úplné uvolňování lan při manévrech bylo pro vlastní experimenty sníženo základní předpětí v lanech a zvětšena citlivost měření použitím menšího rozsahu. Celý normovaný manévr trval této soupravě asi 45 vteřin (délka soupravy byla asi 100 m). Po dokončení celé série měření s jednou nákladní lodí byla k soupravě připojena druhá nákladní loď. Tím vznikla souprava o celkové délce asi 170 m. Nejprve se "odjela" celá série s měřením sil ve spojení remorkér - první loď. Tato série byla obdobná předchozí, jen naměřené hodnoty byly vyšší, ale teoretických maximálních hodnot stále nedosahovaly. Poté následovala série s měřením ve spojení první loď - druhá loď. Hodnoty naměřené při této sérii byly nejnižší ze všech dosažených. Vzhledem k délce celé soupravy byly i manévry pomalejší, a tak se doba normovaného manévru prodloužila asi na 90 vteřin a k dosažení počáteční rychlosti bylo třeba delšího času nájezdu.
Po ukončení celého měření odjely soupravy lodí na svou běžnou trasu po Labi s energetickým uhlím do elektrárny ve Chvaleticích.

Vyhodnocení měření

Podle požadavků zadavatele byla naměřená data zpracována jednak v grafické podobě (viz. **Obr. 3**) pro snadnější prezentaci a jednak statisticky pro jednotlivé série. Jako výchozí byla volena "stacionární" hodnota získaná za ustálené plavby během první fáze měření při nájezdu do plavební dráhy. K ní jsou pak vztaženy jednotlivé přírůstky resp. úbytky sil v lanech během normovaného manévru a k této hodnotě jsou srovnávány i koncové "stacionární" hodnoty při opětovném vyrovnání soupravy do plavební dráhy. Největší nárůst resp. pokles spřažných sil byl vždy zaznamenán ve druhém kroku normovaného manévru, kdy byly řídící trysky vychylovány z jedné krajní polohy do druhé. Tyto hodnoty síly F dosahovaly maximálních hodnot cca 75 kN. Současně výsledky ukázaly, že odlehčení druhé strany spoje je prakticky rovno přitížení první a celý spoj se tedy realizuje pouze lany bez dalších parazitních mechanismů (vklínění nákladní lodi do dřevěných vodicích pilonů remorkeru, přenos síly zabezpečovacími háky apod.). Z hlediska únosnosti lan nehrozí nebezpečí jejich poškození, protože výsledné účinky po superpozici předpětí s

nejnepříznivějším stavem při normovaném manévru jsou podstatně nižší než je dovolené namáhání lan.



Obr. 3 Výsledky - síly naměřené v lanech

Závěr

Vzhledem ke způsobu měření se jednalo o rutinní práci aplikovanou v neobvyklých podmínkách a vázanou na některá nezvyklá omezení. K měření relativně pomalých dějů byla spolehlivě použita tenzometrická ústředna Hottinger Baldwin Messtechnik UPM 60 ve spojení přes HPIB rozhraní s počítačem Commodore PC. Toto spojení umožňovalo již během měření prezentovat naměřená data IN TIME na monitoru a podle okamžitých výsledků korigovat další postup měření. Na základě přímého sledování byla například vyrovnána předpětí v lanech nebo snižováno předpětí na hodnoty srovnatelné s měřenými veličinami. Závěrem lze říci, že tato měření nepotvrdila použité matematické modely pro počítačové zpracování chování soupravy při manévru. Na základě námi dodaných podkladů probíhá nyní u zadavatele modifikace matematického modelu, který by měl být v budoucnu používán ke spolehlivějšímu modelování pohybu soupravy lodí a obdobným účelům.

Autoři:
ing. Jan Řezníček, CSc. (37), **ing. Milan Růžička, CSc.** (39)
České vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní, katedra pružnosti a pevnosti
Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice
tel.: (02) 332 2509, 332 2513, 332 2517
E-mail: reznicek@fsid.cvut.cz, ruzicka@fsid.cvut.cz