

# Zvýšení spolehlivosti závěsného oka servomotoru pokloповých vrat plavební komory

Miroslav Varner

Abstrakt:

Uvádí se postup a výsledky šetření porušení oka a návrh nového oka optimalizovaného vzhledem k únavové životnosti. Přípustný počet přeplavení nového optimalizovaného oka činí cca 0,5 miliónů.

## Úvod

Pokloповá vrata plavebních komor [1], jsou ovládána servomotory. Pístnice servomotoru je připojena k vratům závěsným okem s ložiskem. Servomotory včetně závěsných ok jsou trvale ponořeny ve vodě. Vodní prostředí negativně ovlivňuje provozní vlastnosti ložiska a únavové vlastnosti použitých materiálů. Po 10 letech provozu plavební komory došlo k totálnímu porušení závěsného oka. V příspěvku se uvádí příčiny porušení oka a výsledky řešení úkolu zvýšení jeho spolehlivosti.

## Příčiny porušení oka

### Vizuální prohlídka porušeného oka

Na povrchu lomu oka servomotoru viz. foto. 1 jsou patrné dvě oblasti – oblast iniciace a růstu únavové trhliny a oblast šíření trhliny při silovém lomu. Část únavové lomové plochy je poškozena rozsáhlou plastickou deformací, která zřejmě vznikla v důsledku kontaktu protilehlých lomových ploch po rozlomení

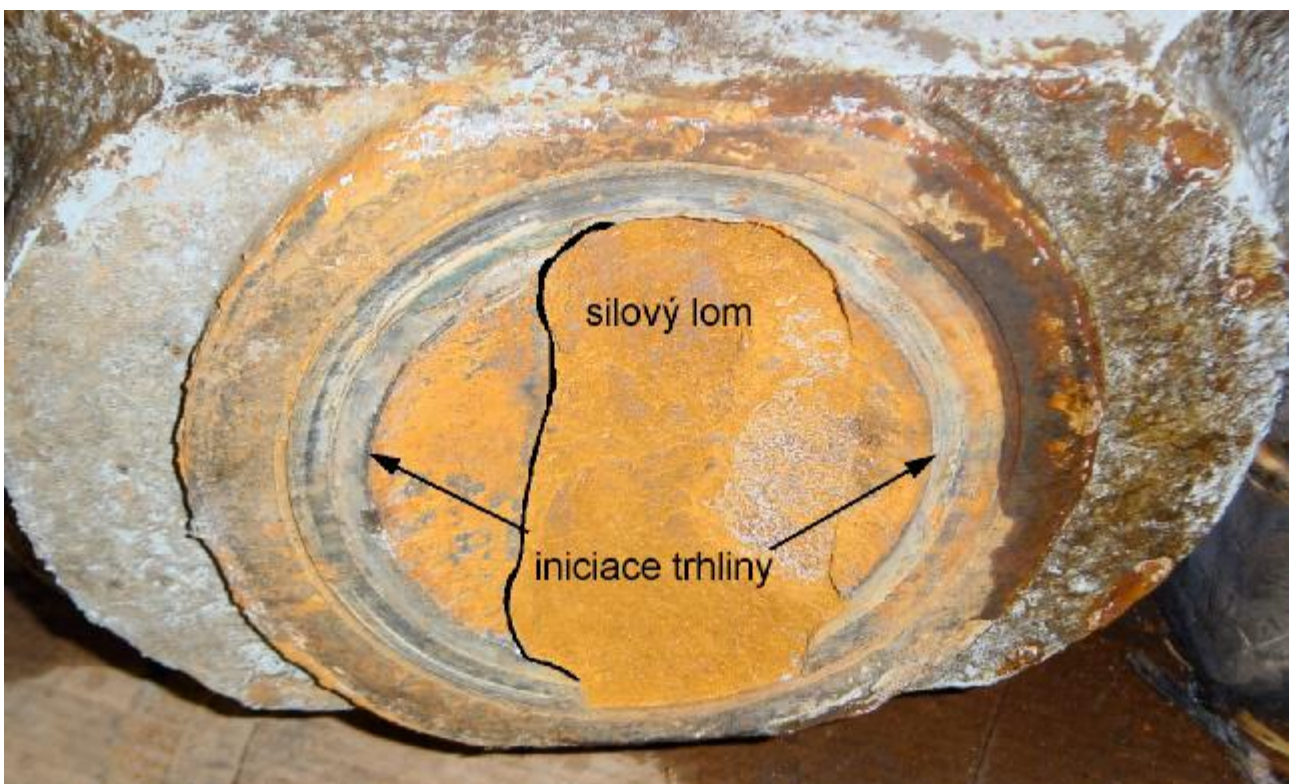
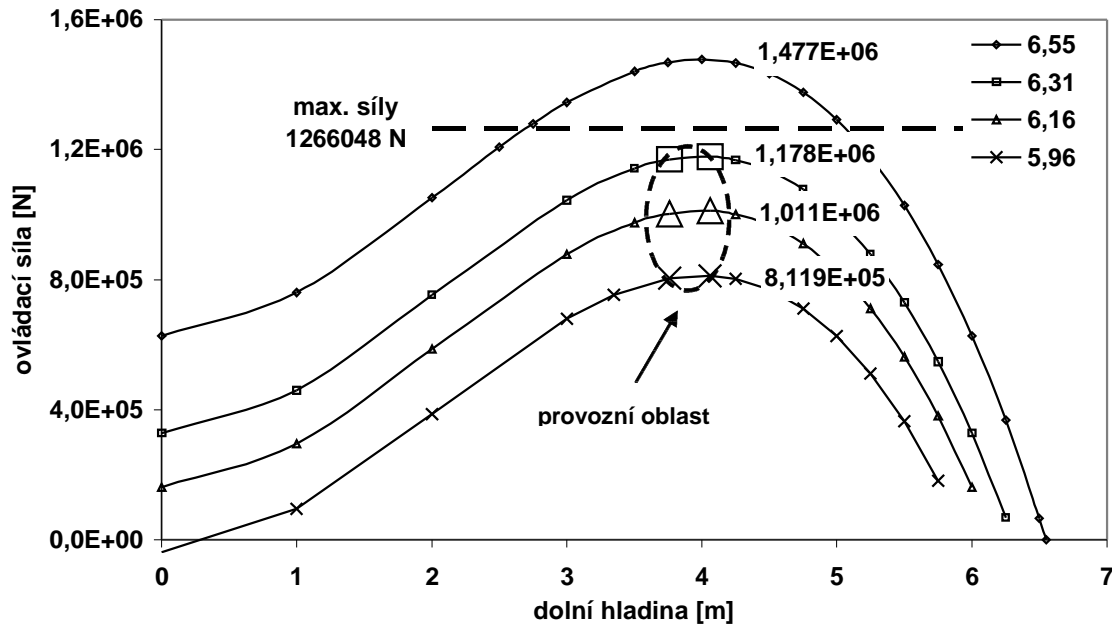


Foto 1

oka. Únavová trhлина iniciovala ve vrubu s poloměrem cca  $R = 2$  mm. Tvar únavových lomových ploch a silové lomové plochy ukazuje na značnou nerovnoměrnost napětí po obvodu vrubu. Charakter lomové plochy odpovídá lomům vrubovaných tyčí s kruhovým průřezem zatížených střídavým ohybem [2].

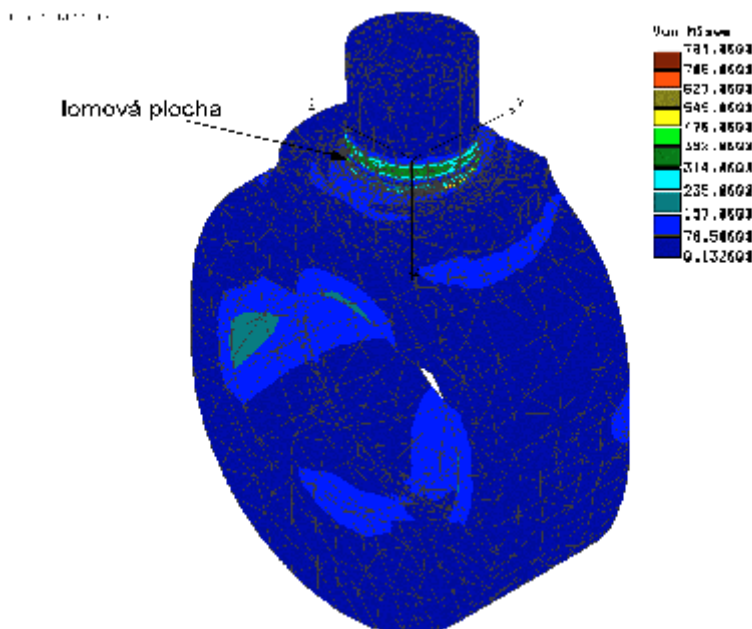
### Výpočet provozních napětí

Průběh ovládací síly působící na oko servomotoru při vztyčených vratech zatížených hydrostatickým tlakem vody v závislosti na dolní a horní hladině je uveden na obr. 1. Ve vymezené provozní oblasti je velikost ovládací síly převážně určena úrovní horní hladiny. Ovládací síla (tahová) při tlaku oleje v servomotoru  $p_{olej} = 8\text{MPa}$  činí maximálně 1266048 N. Při pohybu pístnice dochází k pootáčení čepu vůči oku a vzniká



Obr. 1 Závislost ovládací síly na dolní hladině, horní hladina [m] je parametr

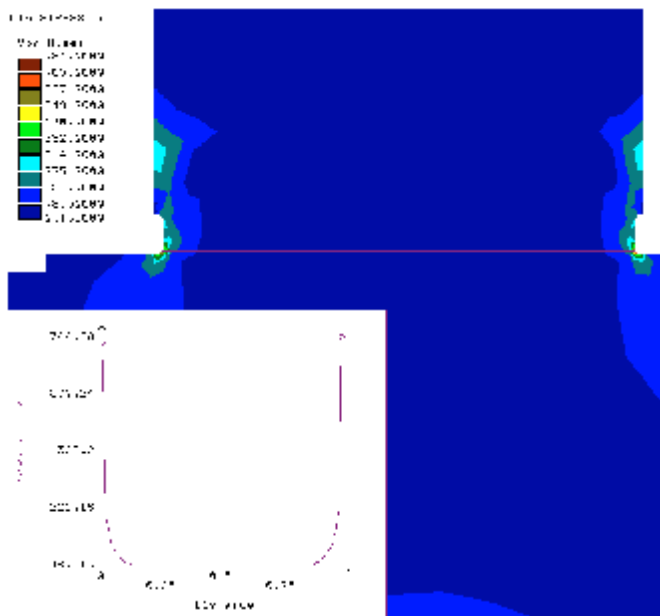
třecí moment, jehož velikost je úměrná ovládací síle a koeficientu tření v ložisku oka.



Obr. 2 Průběh napětí na povrchu oka

Výsledky výpočtu napětí MKP provedené programem COSMOS [3] ukazují, že nerovnoměrné rozložení napětí podél vrubu se vyskytuje při všech uvažovaných zatěžovacích stavech:

- zatížení oka tahem silou servomotoru
- zatížení oka ohybem od tření v ložisku oka
- superposice zatížení oka tahem a ohybem.



Obr. 3 Průběh napětí v řezu okem v kritickém místě

Při tahovém zatížení obr.2 dosahuje součinitel tvaru  $\alpha = \sigma_{max}/\sigma_{nom}$  hodnoty 10,5. Průběh napětí po průřezu pod vrubem je pro oba základní uvažované typy zatížení podobný viz. obr.3. Je tedy možné očekávat, že i při míjivém tahovém namáhání oka vznikne lomová plocha podobná lomové ploše při zatěžování oka tahem a ohybem.

Výpočet na únavu

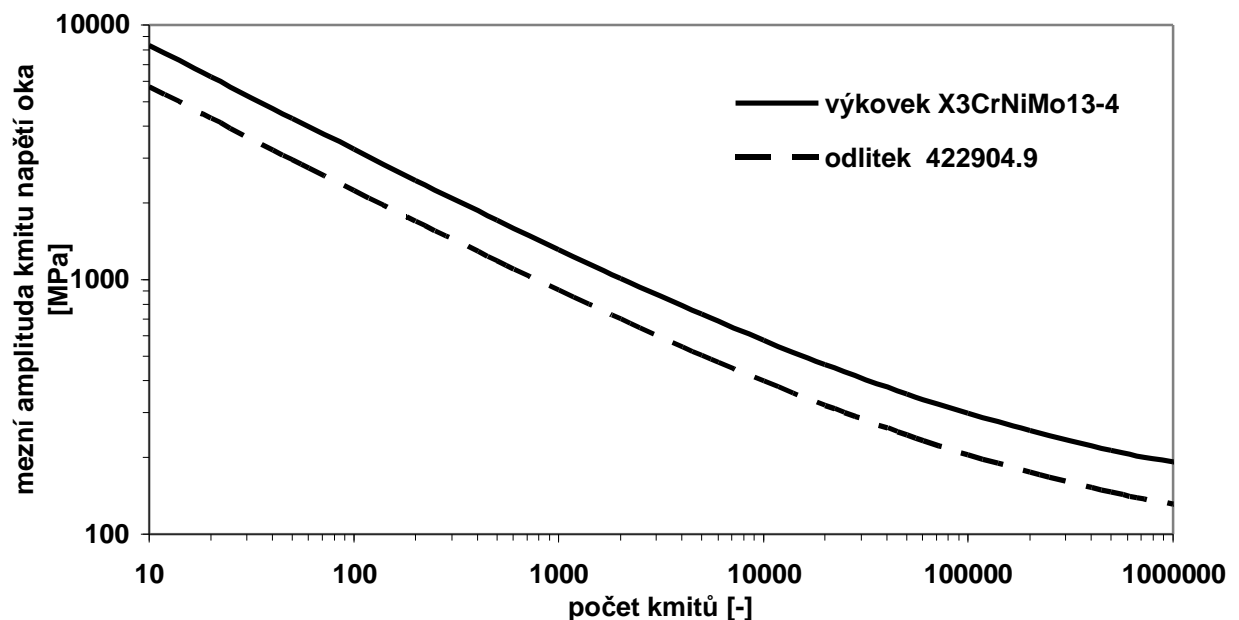
Mezní hodnoty amplitudy kmitu napětí  $\sigma_{ac,oko}$  oka lze vyjádřit vztahem

$$S_{ac,oko} = \frac{a}{b} \cdot S_{ac} \tag{1}$$

kde  $\beta$  je součinitel vrubu – uvažujeme  $\beta(N) = \text{konstanta}$ ,  $S_{ac}$  je mezní amplituda napětí hladké tyče s charakteristickým rozměrem cca 150 mm, přičemž platí [4]:

$$\frac{a}{b} = 1 + (c \cdot c)^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

kde  $c$  je materiálová konstanta zahrnující i vliv korozního prostředí na únavu a  $\chi$  je poměrný gradient napětí



Obr. 4 Křivka životnosti kritického místa původního a optimalizovaného oka servomotoru

ve vrubu. Poměrný gradient napětí určený z výpočtu napětí oka MKP a poměr alfa/beta ze vztahu (2) dosahují prakticky stejných hodnot. Typ zatěžování tedy nemá významný vliv na mezní hodnoty amplitudy kmitu napětí oka  $\sigma_{ac,oko}$ . Mezní hodnoty amplitudy kmitu napětí oka  $\sigma_{ac,oko}$  vypočítané s použitím rovnic (1) a podkladů [4], [5] a [6] pro ocel 422904.9, při zatěžování ve vodě s harmonickým průběhem síly s hodnotou koeficientu nesouměrnosti kmitu  $R = 0$ , jsou v závislosti na počtu kmitů vyznačeny na obr. 4.

Vypočítané amplitudy kmitu napětí  $\sigma_{a,MKP}$  a vypočítané počty kmitů (výpočtový počet proplavení) uvedeny v tabulce 1. Doba života oka je odhadnuta modifikovanou hypotézou lineární kumulace únavového poškození [5].

**Tabulka 1**

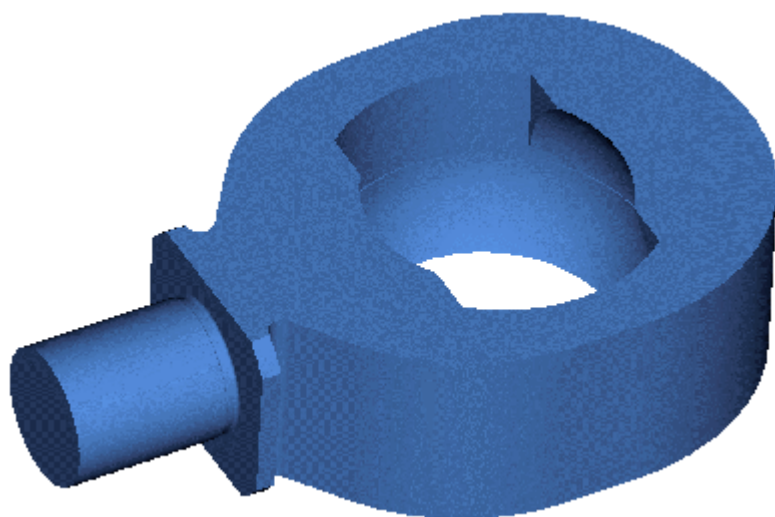
ovládací síla [N]	typ zatížení	součinitel tření [-]	$\sigma_{a,MKP}$ [MPa]	počet kmitů [-]	doba života-kmity [-]
1178000	tah	0	462	6446	12338
1011000			396	10190	
811900			318	20377	
1178000	tah+ohyb	0,1	539	4123	7661
1011000			463	6415	
811900			371	12443	
1178000	tah+ohyb	0,4	830	1256	2210
1011000			713	1896	
811900			572	3477	

Podíl průměrného vypočítaného počtu kmitů pro jednotlivé typy zatížení a počtu kmitů do havárie oka (počet cyklů proplavení v letech 1994 až 2004 činí 14083) je v mezích 0,16 – 0,88. Nejlepší soulad skutečné životnosti oka s výpočtem se dosahuje při modelovém zatěžování tahem - podíl má hodnotu 0,88. Uvážíme-li přesnosti modelu únavového života a zejména popisu provozního zatížení oka, jsou dosažené hodnoty podílu v očekávaných mezích.

Na základě provedených výpočtů a rozborů je jisté:

- porušování oka probíhalo nízkocyklovou únavou
- trhлина vznikla v místě s maximální koncentrací napětí
- již samotné tahové zatížení může vést k havárii oka nízkocyklovou únavou
- případný výskyt zvýšení tření v ložisku nebo čepu oka, které při manipulaci s vraty způsobuje přídavné ohybové namáhání oka, drasticky snižuje jeho únavovou životnost
- nepříznivý účinek sehrála rovněž absence předepnutí spoje.

## Návrh oka se zvýšenou spolehlivostí



Obr. 5 Geometrický model optimalizovaného oka

Nový návrh oka je výsledkem tvarové a materiálové optimalizace vzhledem k únavové pevnosti oka. Geometrie oka se zvýšenou spolehlivostí je na obr.5. Vypočítané amplitudy kmitu napětí  $\sigma_{a,MKP}$  a vypočítané počty proplavení jsou uvedeny v tabulce 2. Doba života je vypočítána za předpokladu, že výskyt režimu s uvedenými hodnotami ovládacích sil má stejnou pravděpodobnost  $P = 0,333$ .

**Tabulka 2**

ovládací síla [N]	zatížení	součinitel tření [-]	$\sigma_{a,MKP}$ [MPa]	počet kmitů [-]	doba života- kmitů [-]
1178000	tah	0	159	5,33E+06	10 100 000
1011000			136	9,61E+07	
811900			110	neomezen	
1178000	tah+ohyb	0,1	212	5,24E+05	1 140 000
1011000			182	1,48E+06	
811900			146	1,81E+07	
1178000	tah+ohyb	0,4	404	3,16E+04	52 300
1011000			347	5,48E+04	
811900			278	1,33E+05	

Protože metodika výpočtu únavové životnosti upraveného oka je shodná s metodikou výpočtu použitou při posouzení havárie oka, je možno očekávat, že životnost upraveného oka v daných provozních podmínkách odpovídá počtu kmitů stanovených pro zatížení tahem, tj. přípustný počet kmitů činí 10 miliónů kmitů viz. tabulka 3. Zaručený počet proplavení s obvyklou bezpečností 20 je tedy 0,5 miliónů. Vzhledem k očekávanému účinku tření v ložisku, viz. počty kmitů v tabulce 3 pro modelované typy zatížení, doporučujeme věnovat zvýšenou pozornost údržbě ložiska s cílem zajistit co nejmenší tření v ložisku.

## **Závěr**

Na základě provedených rozborů a zejména výsledků výpočtů napětí metodou konečných prvků je jisté:

- příčinou porušování oka byla nízkocyklová únava
- trhлина vznikla v místě s maximální koncentrací napětí
- již samotné tahové zatížení může vést k havárii oka nízkocyklovou únavou
- případný výskyt zvýšení tření v ložisku nebo čepu oka, které při manipulaci s vraty způsobuje přídavné ohybové namáhání oka, drasticky snižuje jeho únavovou životnost
- nepříznivý účinek sehrála rovněž absence předepnuté spoje.

Tvar oka a volba materiálu oka byl optimalizován z hlediska jeho únavové životnosti.

- v kritickém místě oka optimalizovaného metodou konečných prvků pokleslo napětí na 36% hodnoty napětí původního oka
- zaručený počet kmitů (počet proplavení) činí 0,5 miliónů kmitů.

## **Použité podklady**

1. ČÁBELKA, J.: Vodní cesty a plavba, SNTL, Praha 1976
2. Fractography, Volume 12, Metals Handbook Ninth Edition, ASM International, Metals Park, Ohio 44073, 1986
3. <http://www.srac.com>
4. KLESNIL, M. – LUKÁŠ, P.: Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání, Praha 1975, ACADEMIA
5. ASME Boiler & Pressure Vessel Code, SECTION VIII, Division 2, The American Society of Mechanical Engineers, 1992
6. GESSMANN, H.: ÖZE, Jg. 45, Heft 12, Dezember 1992

Ing. Miroslav Varner  
Pod Javory 26  
67801 Blansko  
e-mail: [varner@wo.cz](mailto:varner@wo.cz)

ČKD Blansko Strojírny a.s.  
Gellhornova 1  
67818 Blansko  
tel.: +420 516 402 023, e-mail: [miroslav.varner@ckdblansko.cz](mailto:miroslav.varner@ckdblansko.cz)