



Marijo Oršulić*

Petar Čovo**

ISSN 0469-6255

(199-205)

PROVJERA CENTRACIJE NIZA VRATILA U RADNIM UVJETIMA CONTROL OF THE SHAFT LINE ALIGNMENT UNDER WORKING CONDITIONS

UDK 629.5+623.85

Stručni članak

Professional paper

Sažetak

U radu se razmatraju opterećenja niza vratilâ i parametri koji utječu na oblik elastične linije vratila. Navedene su pojedine dopuštene vrijednosti tih parametara i prikazane su mogućnosti njihove kontrole u radnim uvjetima.

Redovitom provjerom bitnih parametara niza vratilâ mogu se spriječiti njegova znatna oštećenja, a time i troškovi održavanja, odnosno pravodobnim nadzorom i popravcima niza vratila u radnim uvjetima može se povećati profitabilnost broda.

Summary

The loads of shaft line and as well parameters effecting the shape of elastic line of the shaft line shall be considered during operation. Particular permissible values of these parameters have been specified and possibilities of their control under working conditions have been given.

By continuous control of essential shaft line parameters its major defects may be prevented and thus the maintenance expenses, namely by performing due supervision and repair of the shaft line under working conditions, the profitability of a ship shall be increased.

1. Uvod

Introduction

Osnovni dijelovi brodskog porivnog sustava su: porivni stroj, zupčanički prijenosnik s izvrstivom spojkom, odzivni ležaj, niz vratilâ s nosivim ležajima, statvena cijev s ležajevima i brtvenicama i brodski vijak.

Ugradnja niza vratilâ obavlja se na osnovi proračuna centracije. Proračun centracije obuhvaća određivanje broja ležaja i njihovih reakcija, određivanje elastične linije vratilâ i potrebnih vrijednosti za ugradnju vratila.

Dugo vremena ugradnja niza vratilâ obavljala se na temelju iskustvenih podataka, jer je proračun centracije bilo teško provesti, iako su teoretske osnove proračuna bile poznate.

Radi nepravilnosti ugradnje niza vratilâ pojavljivala su se različita oštećenja zupčastih prijenosnika, lomovi koljeničastih vratila, oštećenja ležaja u statvenoj cijevi, vibracije niza i druge nepogodnosti. Općenito bi se moglo reći da u takvim slučajevima vratilo nije bilo usklađeno s podatljivošću brodske konstrukcije. Stoga se od šezdesetih godina počelo raditi na proračunima centracije niza vratilâ, kako bi se spriječile moguće havarije. Teoretske osnove dali su Pastel i Lickie. Bureau Veritas je među prvima u svijetu istraživao

*Dr. sci. Marijo Oršulić, dipl. ing.

Visoka pomorska škola u Splitu

**Petar Čovo, dipl. ing.

Visoka pomorska škola u Splitu

utjecaj uzajamnog djelovanja porivnog sustava i brodskog trupa.

2. Opći zahtjevi proračuna centracije niza vratila

General Requirements of the Shaft Line Alignment Calculation

Mnoga brodogradilišta i klasifikacijski zavodi imaju vlastite programe za proračun centracije niza vratilâ pomoću računala. Proračunom centracije dobiva se elastična linija niza vratilâ koju određuju broj i položaj ležaja. Ležaji trebaju biti dovoljno opterećeni, a njihovo opterećenje u najnepovoljnijim uvjetima ne smije prelaziti dopuštene vrijednosti. Deformacije niza vratilâ moraju biti manje od dopuštenih kako bi se umanjila dodatna opterećenja porivnog stroja.

Teoretska osnova programa za proračun s pomoću računala temelji se na metodi početnih parametara uz korištenje prijenosnih matrica, koja je za ovakve linijske elastične sustave pogodnija od metode konačnih elemenata. Niz vratilâ se modelira kao greda s promjenljivim popriječnim presjekom kontinuirano opterećena. Ležaji se modeliraju krutim i elastičnim osloncima.

Proračunom se određuju:

- vrijednost reakcija u osloncima,
- vrijednost naprezanja u pojedinim presjecima,
- modeliranje elastične linije vratilâ pri različitim opterećenjima i stanjima broda.

Pri ugradnji vratila nastoji se postići vrijednosti dobivene proračunom, a provjera se može provesti mjerenjem reakcija u ležajima, mjerenjem otvaranja i spuštanja vratilâ na prirubnicama (GAP i SAG), ili mjerenjima naprezanja s pomoću otpornih traka.

3. Utjecajni parametri na elastičnu liniju voda vratila

Impact Parameters of Elastic Line of the Shaft Line

Svojstva materijala, raspored nosivih ležajeva, opterećenje vratilâ momentom torzije, deformacije broda, toplinske deformacije te krutost ležaja mogu znatno utjecati na oblik elastične linije niza vratilâ.

a) Svojstva materijala niza vratilâ

Material Properties of the Shaft Line

Vratila se izrađuju iz čelika, čija su svojstva određena modulom elastičnosti E , i modulom smicanja G . Vratilo brodskog vijka iz čelika ima različita svojstva ako je brončane navlake.

b) Dimenzije dijelova niza vratila

Dimensions of the Shaft Line Components

Niz vratilâ sastavljan je iz cilindričnih i koničnih šupljih ili punih dijelova. Svaki dio određen je duljinom l , vanjskim promjerom na prednjem dijelu d_{VP} , vanjskim promjerom na stražnjem dijelu d_{VS} i unutarnjim promjerom d_U . Utjecaj prijelaznih zaobljenja, utora za klin, popriječnih provrta i ostalih prijelaznih oblika na koncentracije naprezanja može se uglavnom zanemariti.

Vratilo brodskog vijka, međuvratilo i koljeničasto vratilo trebaju se podijeliti na određeni broj dijelova pa se za svaki dio proračunom određuju naprezanja koja se prikazuju u ispisu proračuna.

c) Težine i uzgoni

Weights and Buoyancy

Proračunom centracije u okomitoj ravnini moraju se uzeti u obzir opterećenja vlastite težine vratilâ i ostalih dijelova niza vratilâ. Ne smiju se zanemariti sile uzgona na dijelove koji su uronjeni u moru ili u ulju statvene cijevi.

d) Sile i momenti izazvani porivnim strojem

Forces and Moments Effected by Propulsion Engine

Ako je porivni stroj neposredno spojen na niz vratilâ, koljeničasto vratilo se uzima u dio elastičnog sustava koji treba proračunati. Proračunom treba uzeti u obzir sile koje djeluju na koljeničasto vratilo kada dizelski motor nije u radu i kada je u radu.

Ako je porivni stroj spojen s vratilnim nizom pomoću zupčastog prijenosnika, treba uzeti u obzir djelovanje sila na ozubljenju u pogonskim uvjetima.

e) Ekscentričnost djelovanja porivne sile

Extremity of the Propulsion Engine Force Effect

Porivna sila ne djeluje u osi niza vratilâ, nego ekscentrično, pa nastaje moment savijanja stražnjeg dijela vratila brodskog vijka. Moment savijanja je proporcionalan brzini broda i brzini vrtnje brodskog vijka. Do ekscentričnosti djelovanja porivne sile dolazi zbog djelovanja krila propelera pri promjenljivom uronu, a time i pri različitim hidrostatičkim tlakovima. Det Norske Veritas na temelju brojnih ispitivanja jednovijčanih brodova, došao je do odnosa:

$$\frac{T_e}{T} = 0,230 \quad \text{u horizontalnoj ravnini}$$

$$\frac{T_e}{T} = 0,243 \quad \text{u okomitoj ravnini}$$

T_e – srednji moment savijanja zbog ekscentričnog djelovanja sile

T – nazivni moment uvijanja porivnog stroja koji se predaje vodu vratila.

Navedene vrijednosti razmjera odnose se na brod pod punim gazom. Vrijednosti su redovito umanjene kada je brod u plovidbi pri manjem gasu.

- f) Deformacije brodske konstrukcije koja nosi niz vratilâ
Deformations of the Ship/s Structure Bearing the Shaft Line

Ugradnja niza vratilâ obavlja se obično na navozu ili na opremnoj obali pri vrlo malom opterećenju broda. Trup broda a time i konstrukcija koja nosi niz vratilâ u eksploatacijskim uvjetima se dodatno deformira što ovisi o gasu i stanju mora. Stoga se trebaju odrediti deformacije broda koje bi odgovarale srednjim vrijednostima u uvjetima eksploatacije broda.

Deformacije se mogu odrediti proračunom pomoću metode konačnih elemenata ili mjerenjem na sličnim brodovima pri različitim opterećenjima. Postoje i jednostavni proračuni koji daju zadovoljavajuće rezultate za procjene deformacija broskog trupa. Ove se deformacije uzimaju u obzir tako da se njihove vrijednosti dodaju pomacima ležaja u odnosu na referentnu liniju niza vratilâ koja uvijek zadržava isti pravac.

- g) Toplinske deformacije
Deformations due to Heating

Toplinsko širenje kućišta zupčastog prijenosa za vrijeme pogona treba uzeti u obzir zbog malog razmaka između ležaja izlaznog vratila prijenosnika i ležaja niza vratilâ. Mali razmak između tih ležajeva uvećava krutost tog dijela vratila, pa se reakcije u ostalim ležajima znatno uvećavaju.

Na toplinsko širenje kućišta zupčaničkog prijenosa utječe i toplinsko širenje tanka cirkulacijskog ulja za podmazivanje zupčanika koji je smješten ispod prijenosnika a obično se izvodi kao strukturni tank.

Kad je dizelski motor neposredno spojen na niz vratilâ, treba uzeti u obzir toplinsko širenje temeljne ploče motora, tako da se proračun vrši za hladno i toplo stanje.

- h) Krutost ležaja
Bearing Stiffness

Pri proračunu centracije niza vratilâ pretpostavlja se da su ležajevi i postolje ležajeva apsolutno kruti. Ovakva pretpostavka može se uzeti s dovoljnom točnošću kada je vratilo u mirovanju jer je tada u neposrednom dodiru s blazinicom ležaja. Pri vrtnji dolazi do pomaka vratila u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini zbog stvaranja nosivog uljnog sloja, koji omogućuje hidrodinamičko plivanje vratila u blazinici.

4. Vrijednosti graničnih parametara opterećenja i deformacije ležaja *Values of Limit Parameters of Loads and Bearing Deformities*

Radijalni pomaci ležajeva su proporcionalni reakcijama u ležajevima i utječu na oblik elastične linije voda vratila za neko proračunsko stanje.

Stoga se na osnovi pretpostavljenih pomaka ležajeva za neko proračunsko stanje mogu dobiti pretpostavljene reakcije i elastičnu liniju voda vratila, koja se često zove izabrana elastična linija. Za takvo pretpostavljeno proračunsko stanje preporučuju se granične vrijednosti pojedinih parametara.

- a) Najmanje opterećenje ležaja
Minimum Bearing Loads

Reakcija u ležaju mora biti usmjerena suprotno težini vratila da bi se izbjegla dodatna opterećenja susjednih ležajeva. Nepostojanje reakcije u ležaju povećava udaljenost između opterećenih ležaja, što je nepovoljno s obzirom na vlastite fleksijske vibracije voda vratila.

Najmanje opterećenje ležaja u okomitoj ravnini treba iznositi:

$$R_{min} = 0,2(G_1 + G_2) > 0 \quad (1)$$

$R [N]$ – reakcija u promatranom ležaju

$G_1 [N]$ – zbroj težina opterećenja između ležaja, ispred promatranog ležaja,

$G_2 [N]$ – zbroj težina opterećenja između ležaja, iza promatranog ležaja.

- b) Najveće opterećenje ležaja
Maximum Bearing Loads

Vrijednost reakcije u ležaju ograničena je dopuštenim srednjim specifičnim pritiskom na blazinicu ležaja:

$$p_{sr} = \frac{R}{D \cdot L} [Pa] \quad (2)$$

$p_{sr} [Pa]$ – srednji specifični pritisak,

$D [m]$ – vanjski promjer ležaja,

$L [m]$ – duljina blazinice ležaja.

Dopušteni srednji specifični pritisak ovisi o konstrukciji ležaja i iznosi:

$p_{max} = 0,2 \text{ MPa}$ – za ležajeve koji se podmazuju vodom,

$p_{max} = 0,5 \text{ MPa}$ – za ležajeve koji se slobodno podmazuju uljem,

$p_{max} = 1,0 \text{ MPa}$ – za ležajeve koji se prisilno podmazuju uljem.

Srednji specifični pritisak ležaja u stražnjem dijelu statvene cijevi koji se podmazuje uljem (slobodno podmazivanje) ne smije proći vrijednost 0,65 MPa.

c) Najveći nagib elastične linije niza vratilâ u ležaju
Maximum Inclination of Elastic Line of the Shaft Line Bearings

Nagib elastične linije niza vratilâ u nekoj točki određen je pravcem tangente na elastičnu liniju niza vratilâ u promatranoj točki i osi ležaja. Nagib se izražava u radijanima. Najveći nagib koji se konstrukcijski može ostvariti iznosi:

$$\lambda_{max} = \frac{Z_{max}}{L} \quad (3)$$

- λ_{max} [rad] – najveći nagib vratila u ležaju,
 Z_{max} [m] – najveća zračnost u ležaju s obzirom na dosjed vratila i ležaja,
 L [m] – duljina blazinice.

Zahtijeva se da nagib vratila zadovolji uvjet:

$$\lambda \leq \lambda_{dop} = 0,5 \lambda_{max}$$

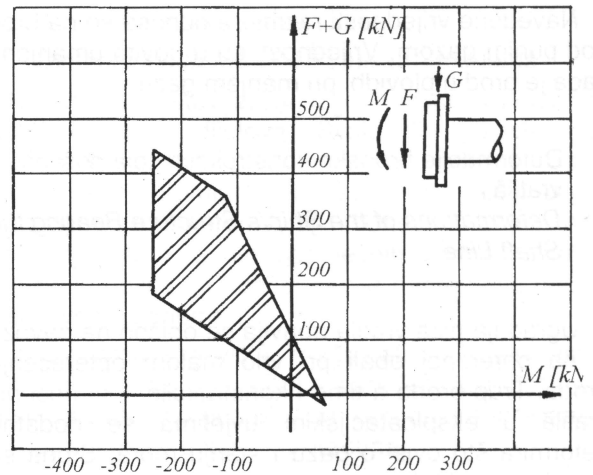
Za uobičajene zračnosti: $Z = (0,0013 \dots 0,0017) D$ i duljine ležaja $L = 2,5 D$, dopušteni nagib elastične linije iznosi:

$$\lambda_{dop} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

Najveći nagib elastične linije niza vratilâ obično nastaje na stražnjem ležaju u statvenoj cijevi zbog utjecaja težine broskog vijka. Ako proračunski nagib tog ležaja prelazi dopuštenu vrijednost, može se izvesti kosa obrada statvene cijevi ili se mogu spustiti susjedni nosivi ležajevi u odnosu na os statvene cijevi kao referentne osi.

d) Moment savijanja i popriječna sila na stražnjoj prirubnici koljениčastog vratila
Bending Moment and Transverse Force of the Crank Shaft Aft Flange

Proizvođači motora preporučuju dopuštene vrijednosti momenata savijanja i popriječnih sila koji se prenose s niza vratila na odzivno vratilo a pomoću njega na koljениčasto vratilo motora. Područje dopuštenih vrijednosti opterećenja obično se prikazuje grafički i to za svaki porivni motor. Na slici 1. prikazan je takav dijagram za motor MAN B&W 4 – 8 S60 MC, gdje je F [kN] – popriječna sila na prirubnici motora, G [kN] – težina zupčanika za okretanje vratila i M [kNm] – moment savijanja. Vrijednost dopuštenih opterećenja su u označenom području dijagrama.



Slika 1. Vrijednosti dopuštenih opterećenja na prirubnici motora MAN B&W 4 – 8 S&=MC

Figure 1. Values of permissible loads of the engine flange MAN B & W 4-8 S60 HC

Popričnoj sili F redovito se pridodaje težina zamašnjaka G . Treba predvidjeti da prednji nosivi ležaj međuvratila nije preblizu stražnjem ležaju motora kako bi se umanjio toplinski utjecaj širenja temeljne ploče motora na temelj nosivog ležaja međuvratila.

Pri spajanju niza vratilâ i koljениčastog vratila, stražnje osno koljeno treba biti u gornjoj mrtvoj točki jer je njegova krutost u tom položaju znatno veća.

Proračunom dobivena opterećenja na prirubnici motora u hladnim i toplim uvjetima rada vratilnog niza, moraju se nalaziti u označenom području dijagrama na slici 1.

5. Provjera centracije niza vratila u eksploatacijskim uvjetima *Control of the Shaft Line Alignment under Service Conditions*

Za provjeru centracije niza vratilâ postoje postupci:

- mjerenje napreznja vratila pomoću otpornih traka,
- mjerenje otvaranja i spuštanja na razdvojenim prirubnicama vratila,
- mjerenje ležajnih reakcija pomoću hidrauličke dizalice.

a) Mjerenje pomoću otpornih traka
Measuring by Strain Gauge

Pomoću otpornih ili tenzometrijskih traka mogu se provjeriti momenti savijanja i napreznja na savijanja koja omogućuju dobivanje elastične linije niza vratilâ koji je dostupan.

Ispitivanje se provodi na većem broju mjernih mjesta, a posebno su važna mjerna mjesta u blizini

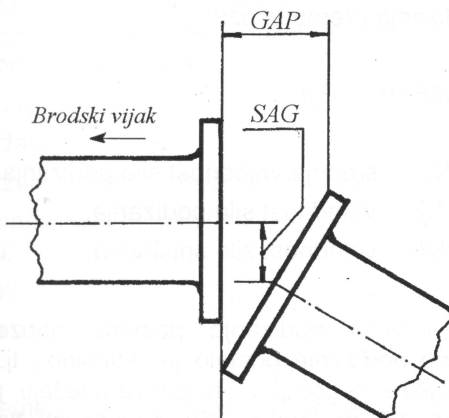
ležajeva. Mjerenja se mogu obaviti kada je niz vratilâ u mirovanju, tj. u hladnom stanju, kad se glavni motor zagrijava i kad je niz vratilâ u radu, tj. u toplom stanju. Tako se može dobiti uvid u promjenu elastične linije za vrijeme tih stanja niza vratilâ.

Ovim postupkom mjerenja može se odrediti djelovanje porivne sile na niz vratila, zatim utjecaj deformacije konstrukcije broda zbog njezinog opterećenja i utjecaj toplinskih širenja na vratilni niz.

Nedostatak ovog postupka proizlazi iz složenosti njegove provedbe pa se zahtijeva timski rad grupe specijalista. Vrijeme provedbe mjerenja je dosta dugo.

- b) Mjerenje otvaranja i spuštanja vratila na razdvojenim prirubnicama
Measuring of GAP and SAG of shaft line on separated flanges

Otvaranje prirubnica prema slici 2. pod nazivom "GAP" i spuštanje vratilnog voda pod nazivom "SAG", određeni su izmjerenim vrijednostima i predznakom. Ako je otvaranje s donje strane, tj. prema dolje, otvaranje je pozitivno. Spuštanje je pozitivno ako je desna prirubnica na višoj razini. Brodski vijak se nalazi na lijevoj strani promatrača. Prikazane vrijednosti GAP i SAG na slici 2. su negativnog predznaka.

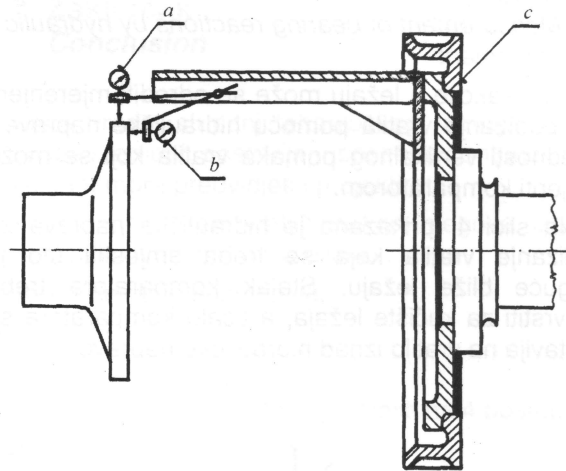


Slika 2. Prikaz vrijednosti otvaranja GAP i spuštanja SAG

Figure 2. Schematic layout of the GAP and SAG values

Vrijednost GAP i SAG mogu se mjeriti i u horizontalnoj ravnini.

Otvaranje i spuštanje može se istodobno mjeriti pomoću dva komparatora koje treba postaviti na način prikazan na slici 3. Nosač na koji se trebaju pričvrstiti komparatori mora imati dovoljnu krutost, tako da njegov progib nema utjecaja na izmjerene vrijednosti.



- a - komparator za mjerenje spuštanja, SAG clock gauge for SAG measuring
 b - komparator za mjerenje otvaranja, GAP clock gauge for GAP measuring
 c - glavina za pričvršćenje attachment boss

Slika 3. Mjerenje otvaranja i spuštanja na prirubnici vratila

Figure 3. Measurement of shaft line flange GAP and SAG

Mjerenje se provodi tako da se vrijednosti na komparatorima očitavaju za svakih 1/4 okretaja, pa se dobivaju očitavanja na komparatoru "a":

- t_1 - očitavanje u gornjem položaju,
 s_1 - očitavanje u desnom položaju,
 b_1 - očitavanje u donjem položaju,
 p_1 - očitavanje u lijevom položaju.

Očitavanja na komparatoru "b":

- t_2 - očitavanje u gornjem položaju,
 s_2 - očitavanje u desnom položaju,
 b_2 - očitavanje u donjem položaju,
 p_2 - očitavanje u lijevom položaju.

Otvaranje u vertikalnoj ravnini bi iznosilo:

$$GAP = b_2 - t_2 \quad (5)$$

Spuštanje u vertikalnoj ravnini bi iznosilo:

$$SAG = 0,5 (b_1 - t_1) \quad (6)$$

Budući da otvaranje i spuštanje u horizontalnoj ravnini moraju biti jednaki nuli, dobivaju se uvjeti centracije u horizontalnoj ravnini:

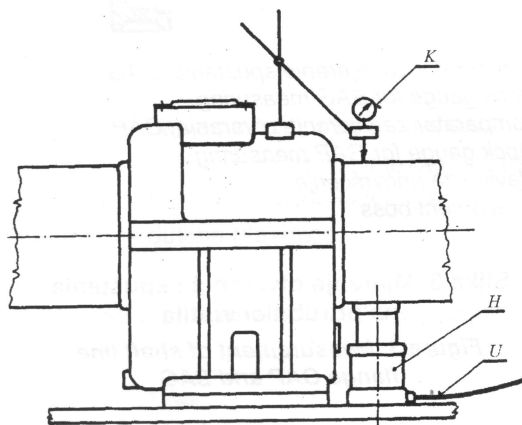
$$s_1 = p_1 \quad i \quad s_2 = p_2 \quad (7)$$

Umjesto komparatora postoje i druge mogućnosti očitavanja, npr. optički laserski sustavi.

- c) Mjerenje ležajnih reakcija pomoću hidrauličke naprave
Measurement of bearing reactions by hydraulic equipment

Sila reakcije u ležaju može se odrediti mjerenjem sile podizanja vratila pomoću hidrauličke naprave i vrijednosti vertikalnog pomaka vratila koji se može izmjeriti komparatorom.

Na slici 4. prikazana je hidraulička naprava za podizanje vratila koja se treba smjestiti što je moguće bliže ležaju. Staljak komparatora treba pričvrstiti za kućište ležaja, a ticalo komparatora se postavlja na vratilo iznad hidrauličke naprave.



H - hidraulička naprava (hydraulic equipment)
U - dovod ulja (oil supply)
K - komparator (clock gauge)

Slika 4. Mjerenje ležajne reakcije pomoću hidrauličke naprave i komparatora

Figure 4. Measurement of bearing reaction by hydraulic equipment and clock gauge

Ako se na manometru očita vrijednost tlaka ulja, uz poznatu površinu klipa hidrauličke naprave može se dobiti sila dizanja vratila.

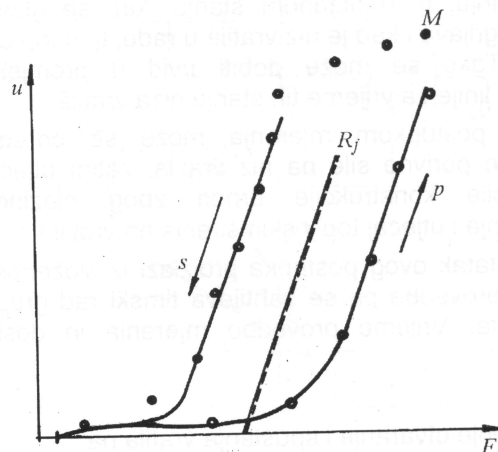
$$F = p \cdot A \text{ [kN]} \quad (8)$$

$$p \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{– tlak ulja}$$

$$A \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{– površina klipa}$$

Budući da je sila u funkciji tlaka za određenu hidrauličku napravo manometar se može prilagoditi tako da se na njemu očitava tlak i sila dizanja vratila.

Ako se vrijednosti sile dizanja i izmjereni okomiti pomaci vratila prikažu u dijagramu $F - u$, dobivaju se krivulje prikazane na slici 5.



p – krivulja podizanja (GAP curve)
s – krivulja spuštanja (SAG curve)
 R_j – srednja vrijednost sile podizanja (mean value of lifting force)
M. – mjerne točke (measuring points)

Slika 5. Dijagram pomaka vratila u ovisnosti o sili dizanja

Figure 5. Diagram of shaft line shift depending on lifting force

Radi velikog unutarnjeg trenja u hidrauličkoj napravi dobiva se krivulja podizanja i krivulja spuštanja vratila, pa se određuje srednja vrijednost sile podizanja prema izrazu:

$$R_j = 0,5 (R_p + R_s) \quad (9)$$

R_j [kN] – srednja vrijednost sile podizanja,

R_p [kN] – vrijednost sile podizanja,

R_s [kN] – vrijednost sile spuštanja.

Kad krivulja podizanja postane horizontalna, izmjereno podizanje postalo je "stabilno", tj. vratilo tada naliježe na gornji dio blazinice u ležaju, pa se u tom trenutku ne smije više povećavati tlak ulja. Srednja vrijednost sile podizanja predstavlja i ležajnu reakciju. Budući da izmjerena ležajna reakcija djeluje pored ležaja, potrebno je pomoću odgovarajućeg faktora popravka c proračunati stvarnu vrijednost reakcije:

$$R = c \cdot R_j \quad (10)$$

Faktor popravka c je bliži jedinici što je hidraulička naprava bliža središnjem presjeku ležaja.

Ako se trebaju odrediti ležajne reakcije kotrljajućeg ležaja s jednodijelnim kućištem, opisan postupak nije moguće provesti radi malih radijalnih zračnosti. U takvim slučajevima obično se podiže ležaj zajedno s njegovim kućištem.

Na vrijednosti izmjerenih ležajnih reakcija znatno može utjecati odstupanje od suosnosti ležaja međuvratila i vratila. Suosnost ležaja može se provjeriti nakon skidanja poklopca ležaja uvlačenjem mjernih listića između vratila i ležajne blazinice.

6. Nadzor vratilnog niza u eksploatacijskim uvjetima

Supervision of Shaft Line under Service Conditions

U eksploatacijskim uvjetima nije moguće kontrolirati mjerenje, jer svi dijelovi vratilnog niza nisu dostupni. Stoga su propisane vrste pregleda u određenim vremenskim rokovima koje provode klasifikacijski zavodi, a odnose se na mjerenje zračnosti, provjeru centracije, ispitivanje materijala odobrenim metodama bez razaranja, utvrđivanje stanja i izmjenu uljnih brtvenica te vizualni pregled.

Pojave vibracija vratila, šumova, povećane temperature ležajeva, ukazuju na moguća povećana opterećenja ležajeva zbog njihove istrošenosti, veća odstupanja od proračunske centracije niza vratilâ, oštećenja krila vijka, povećanje sila trenja i slično.

U eksploatacijskim uvjetima moraju se provoditi sljedeće provjere:

1. Analiza ulja u ležajevima statvene cijevi u vremenskim razmacima ne duljim od šest mjeseci u cilju dobivanja podataka;

- o sadržaju vode,
- o sadržaju klorida,
- o sadržaju čestica metala i materijala ležaja,
- o otpornosti ulja na oksidaciju, tj. o njegovu starenju;

2. Potrošak ulja;

3. Temperatura ležajeva.

Na temelju tih vrijednosti može se dobiti uvid u proces trošenja ležajeva, stanje stražnje brtvenice i potrebu zamjene ulja. Vrijednosti dobivene analizom ulja moraju biti u granicama dopuštenih vrijednosti, a propisuju ih proizvođači ulja.

Ukoliko bilo koja vrijednost nije u području dopuštenih vrijednosti, vratilo se treba izvući, pregledati i zamijeniti dijelove.

7. Zaključak

Conclusion

Vrsta broda, stupanj tehnološkog razvoja, način montaže i remont, postavljaju posebne zahtjeve koje projektant mora predvidjeti i projektirati.

Projektiranje niza vratilâ nakon njegova izbora smještaja provodi se u dva dijela:

- dimenzioniranje niza vratilâ,
- centracija niza vratilâ.

Dimenzioniranje se može podijeliti na 4 postupka:

- dimenzioniranje međuvratila,
- dimenzioniranje vratila brodskog vijka,
- dimenzioniranje prirubnica i svornjaka,
- dimenzioniranje ležajeva i brtvenica.

Proračunom centracije moraju se ispuniti uvjeti:

- svi ležajevi trebaju biti dovoljno opterećeni,
- opterećenje ležajeva ne smije biti veće od dopuštenog,
- niz vratilâ ne smije izazvati prevelika dodatna opterećenja porivnog stroja,
- deformacije i naprezanja niza vratilâ moraju biti manja od dopuštenih.

Poznavanjem opterećenja koja djeluju na niz vratilâ, kao i graničnih vrijednosti parametara opterećenja i centracije, znatno se može u eksploatacijskim uvjetima utjecati na pouzdan rad niza vratilâ, pa je provjera tih parametara u eksploatacijskim uvjetima opravdana.

Literatura/References

[1] R. KVAMSDAL, "Shaft Alignment", Det Norske Veritas Publication No. 69, Oslo, 1969.

[2] J. VLADISLAVIĆ, "Dokumentacija za dimenzioniranje i centriranje osovinskog voda", Brodosplit, Split, 1998.

[3] "Uputa za rad QW 17 – 1997", Brodosplit, Hrvatski registar brodova, Split, 1997.

Rukopis primljen: 22.11.1999.