

Element pogonskega sklopa

Pogonska gred

Pogonska gred je eden od pomembnejših sestavnih delov klasičnega pogonskega sklopa, ki se uporablja na jadrnicah, čolnih in ladjah. Zato je pravilna izbira gredi z vidika trajnosti in kakovosti pogona še toliko pomembnejša.

tekst Tadej Povhe / foto Tadej Povhe

Splošno o pogonski gredi

Pogonska gred je namenjena prenosu vrtilnega momenta z motorja oziroma natančneje s prirobnice menjalnika na ladijski vijak, pri čemer je gred na enem koncu vpeta prek prirobnice na prirobnico menjalnika, na drugem koncu pa je podprta v ležaju nosilca vijaka. Na gred je nameščen ladijski vijak, ki z odvrinjem vode pretvarja vrtilni moment v potisno silo. Pri odvrinju vode ladijski vijak ustvarja določeno silo, s katero deluje na vodo, pri tem pa voda deluje na ladijski vijak z enako potisno silo, vendar v nasprotno smer (tretji Newtonov zakon). Potisna sila se nato prek pogonske gredi prenaša na nosilce motorja in s tem na trup plovila oziroma na odrivni ležaj, če je ta nameščen v plovilu. Vidimo, da je pogonska gred izpostavljena sestavljeni obremenitvi, obremenjena je namreč torzijsko, kar je posledica vrtenja motorja, in tlačno, kar je posledica potiska ladijskega vijaka. Zato je izjemno pomembno, da izberemo pogonsko gred primernih mer, tako da hkrati upoštevamo potrebno dolžino gredi in potreben premer.

Kritična obremenitev pri delovanju pogonske gredi je prav gotovo tlačna sila, saj se, če je premer gredi premajhen ali če je morda predolga, lahko pojavi upogib gredi. Uklonska sila in uklonska napetost, ki se v tem primeru pojavljata v pogonski gredi, sta odvisni od vitkosti λ , ki je definirana kot razmerje med prosto uklonsko dolžino l_0 in vztrajnostnim polmerom i . Prosta uklonska dolžina pa je različna za različne vrste vpetij ter za pogonsko gred znaša $l_0 = l/2 \cdot \sqrt{2}$, kjer je l dolžina pogonske gredi. Zdaj lahko z Eulerjevo enačbo izračunamo največjo dovoljeno silo v pogonski gredi, glede na izbrane mere gredi. V Eulerjevi enačbi se poleg premera gredi, ki se skriva v aksialnem vz-



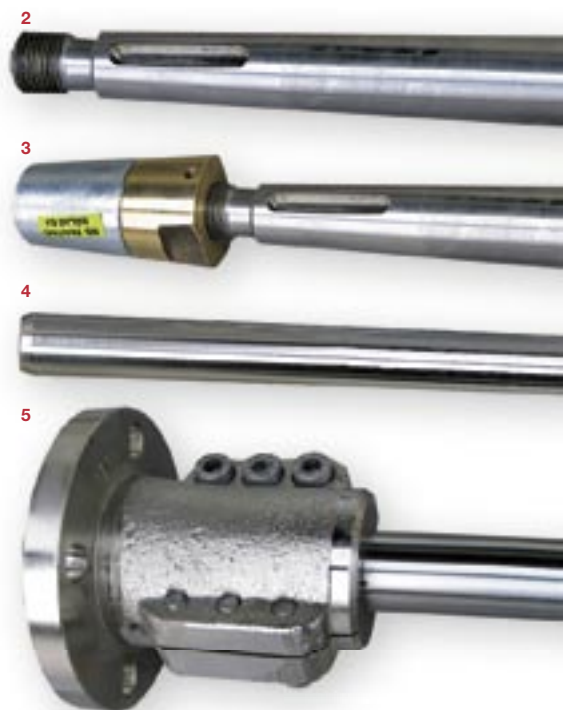
1: Pogonska gred.

trajnostnem momentu, pojavlja tudi dolžina pogonske gredi, zapisana v obliki proste uklonske dolžine. Dolžina pogonske gredi je pomemben dejavnik pri izbiri gredi, saj večja ko je dolžina, manjša je njena uklonska trdnost. Če pa želimo zagotoviti enako uklonsko trdnost pogonske gredi pri večji dolžini, pa je treba povečati tudi premer gredi, če uporabimo enak material. Material pogonske gredi je dodaten dejavnik, ki vpliva na trdnost, zato lahko pri uporabi različnih materialov dosežemo različne uklonske trdnosti. Včasih lahko z izbiro primerne materiala, s tem ko povečamo modul elastičnosti E v enačbi (glej okvirček), kompenziramo potrebo po povečanju premera gredi ob večji dolžini. Material pogonske gredi pa nima vpliva le na trdnost oziroma trdoto gredi, temveč tudi na njeno korozijsko obstojnost.

Primarna naloga pogonske gredi je sicer prenašanje vrtilnega momenta iz motorja na ladijski vijak ter potisne sile na trup plovila, vendar gred pomembno sodeluje tudi pri zagotavljanju učinkovitega tesnjenja. Na gred je namreč nameščen tesnilni sistem, ki s tesnili (odvisno od vrste tesnjenja) preprečuje vdor vode v plovilo. Če pa je pogonska gred poškodovana bodisi mehansko bodisi korozijsko, postopno vdira voda v plovilo. Lastniki plovil pogosto želijo zamenjati star tesnilni sistem z lojno vrvico zaradi samega principa tesnjenja. Pri tesnjenju z vrvico je namreč kapljanje morske vode v plovilo nujno, kajti tako se maže oziroma hladi tesnilna vrvica. Vendar sistem ni praktičen, saj zahteva črpanje vode iz plovila. Pri zamenjavi takšnega tesnjenja pa lastniki pozabijo zamenjati pogonsko gred oziroma se jim zdi to nepotrebno. Vendar je pri zamenjavi tesnjenja z lojno vrvico priporočljivo zamenjati tudi gred. Tesnilni sistem z vrvico deluje namreč tako, da se z zategovanjem vrvice ustvarja

obodni pritisk vrvice na gred, ki zagotavlja tesnjenje. Če se zaradi nepravilne uporabe tesnjenja oziroma prekomernega zategovanja vrvice poškoduje tudi pogonska gred, tako da na njej nastanejo utori, nov tesnilni sistem s sodobnimi tesnili ne bo učinkovito deloval. Poleg mehanskih poškodb so lahko za neučinkovito tesnjenje krive tudi koro-

- 2: Pravilno izdelan utor za mozni in navoj na gredi.
- 3: Matica ladijskega vijaka z varovalnim vijakom.
- 4: Posnetje robu pogonske gredi.
- 5: Torna prirobnica.



Izračun maksimalne dovoljene sile v pogonski gredi

$$F_{max} < \pi^2 \frac{E' I_{min}}{l_0^2 \cdot v}$$

$$l_0 = l/2 \cdot \sqrt{2} \quad \lambda = \frac{l_0}{i}$$

E - elastični modul
 I_{min} - aksialni vztrajnostni moment
 v - varnostni faktor
 l_0 - prosta uklonska dolžina
 i - vztrajnostni polmer

enačba velja, če je $\lambda > 105$

zijske poškodbe, ki pa jih lahko preprečimo z ustrezno izbiro materiala pogonske gredi. Na trgu je mogoče dobiti različne vrste nerjavnih materialov, ki pa niso vsi primerni za pogonske gredi. Material mora imeti dovolj veliko trdnost, hkrati pa mora biti korozijsko odporen proti slani vodi, saj so procesi korozije v morju hitrejši in izrazitejši kot procesi v jezerih oziroma sladki vodi. V javnosti obstaja zmeda, saj se pogosto uporabljajo nepopolne oznake DIN ali AISI nerjavnih materialov 302, 304, 316 ..., ki pa imajo še podskupine, od katerih je le posamezna vrsta primerna za slano morskovo vodo. Intuitivno jasno je, da bolj ko je odporen oziroma kakovosten material, v višji cenovni razred tudi sodi, zato pozorno preverite kakovost materiala pri raznih trgovcih in izdelovalcih. Trenuten prihranek vam lahko v prihodnosti povzroči neizmerno škodo in stroške na plovilu, zato je bolje, da izbirate zaupate izkušenemu izdelovalcu pogonskih gredi.

Obdelava pogonske gredi

Če ste se odločili za izdelovalca pogonskih gredi z večletnimi izkušnjami, bo ta poskrbel za izredno pomembne malenkosti na gredi. Od njih so odvisni učinkovito tesnjenje, pravilna namestitve ladijskega vijaka, zavarovanje ladijskega vijaka proti snetju in podobno, sicer boste morali za vse to poskrbeti sami. Pogonska gred ni le navadna "štanga", kot se lahko včasih sliši, temveč je temeljito in premišljeno obdelan element pogonskega sklopa, od katerega je veliko odvisno. Na gredi je treba narediti strmino (konus enak konusu) ladijskega vijaka, kajti le v tem primeru bo omogočeno pravilno naleganje ladijskega vijaka. Izdelati je treba tudi utor, predviden za mozni (2). Naj omenim, da mozni v tem primeru ne opravlja klasične funkcije prenosa vrtilnega momenta, kot je zanj značilno v strojništvu, temveč ima le vlogo elementa, ki omogoča pravilno nameščanje ladijskega vijaka na konus gredi. Prenos vrtilnega momenta zagotavlja trenje med konusom gredi in konusom ladijskega vijaka, zato je še toliko pomembnejše, da sta konusa izdelana natančno in da se tako tudi prilegata. Na koncu gredi je treba narediti tudi navoj, na katerega se privije matica ladijskega vijaka (3). Pravilno varovana matica ladijskega vijaka preprečuje snetje oziroma izgubo ladijskega vijaka pri vzvratni vožnji plovila, saj zaradi usmerjenosti kril ladijskega vijaka le-ta sili z gredi. Položaj matice ladijskega vijaka na fotografiji ni dokončen, saj jo je treba po namestitvi ladijskega vijaka na pogonsko gred namestiti tako, da naleže ob pesto ladijskega vijaka in da vijak, predviden za varovanje proti odvitju, nasede v zato predvideni žleb. Če naročite pogonsko gred pri izdelovalcu, je za to poskrbljeno. Pomembno je opozoriti, da je treba pri demontaži matice s pogonske gredi predhodno odviti varovalni vijak, da se ne poškoduje navoja pogonske gredi,



6: Bronasti nosilec ladijskega vijaka.

pri varovanju s podložko pa odkrivati del podložke. Izjemno pomembna malenkost, ki odločilno vpliva na kakovostno tesnjenje, je ovaljni rob oziroma posnetje pogonske gredi, ki ga neuki "mojstri" pogosto pozabijo izdelati (4). Ob namestitvi tesnilnega sistema na pogonsko gred bi oster rob gredi poškodoval tesnilne elemente, kar bi vodilo k postopnemu vdoru vode v plovilo, ki bi se z obratovanjem oziroma obrabo tesnilnega sistema še povečeval.

Elementi pogonskega sklopa

Vendar samo pogonska gred in ladijski vijak nista edina potrebna elementa za prenos vrtilnega momenta od motorja do ladijskega vijaka, temveč potrebujemo tudi prirobnico (5) in nosilec vijaka. Na notranjem delu pogonske gredi namestimo torno prirobnico, tako da s postopnim privijanjem vijakov na prirobnici ustvarimo trenje med prirobnico in gredjo. Pred tem moramo čelno stran prirobnice na gredi ustrezno obdelati tako, da ustreza zahtevam in meram prirobnice na menjalniku motorja. Obdelava čelne strani prirobnice je načeloma za vsako znamko motorja oziroma menjalnika različna, zato je priporočljivo, da jo prepustite kar izdelovalcu, saj ta natančno ve, kateremu menjalniku oziroma motorju ustreza katera prirobnica. Ko je prirobnica nameščena na gred, jo z vijaki povežemo s prirobnico menjalnika. Pri tem moramo biti pozorni na centričnost in vzporednost. Povezovalne vijake nato s posebno maso zavarujemo proti odvitju.

Podporo na nasprotni strani pogonske gredi zagotavlja nosilec vijaka (6). Najpogosteje je izdelan iz posebne bronove litine, lahko pa je tudi zvarjen iz nerjavnega jekla. Poleg kakovosti materiala je za nemoteno in dolgotrajno delovanje pogonskega sklopa pomembna



8: Manjša obraba in boljše vodenje gredi ob uporabi zavitih gumijastih ležajev.



7: Izjemno poškodovan oz. izrabljen gumijasti ležaj.

tudi izvedba nosilca vijaka. Starejše izvedbe nosilcev ladijskih vijakov so bile vijučene neposredno na trup plovila, medtem ko v novejšem času nosilci ladijskih vijakov potekajo skozi trup plovila in so pritrjeni ter zaplastificirani z notranje strani plovila. Zaradi trdnosti pogonskega sklopa je priporočljivo, da je nosilec vijaka zaplastificiran v trup plovila, če pa je ta vijachen na trup, je treba zagotoviti veliko naležno površino. V nosilec vijaka je navadno tesno vstavljen gumijasti ležaj, ki ne zahteva vzdrževanja, ko pa je obrabljen, ga je treba zamenjati (7). Navadno so ležaji narejeni iz bronastega ohišja, na katero je z notranje strani vulkanizirana guma z ravnimi oziroma vijučnimi žlebovi (8). Utori oziroma žlebovi v gumi omogočajo, da skozi ležaj teče voda, ki deluje kot mazivo, sočasno pa izpere tudi morebiten pesek oziroma druge nečistoče, ki zaidejo med gred in ležaj. Do zdaj so se večinoma uporabljali ležaji z ravnimi žlebovi, v zadnjem času pa se pogosteje vgrajujejo gumijasti ležaji z zavitimi žlebovi (9), predvsem zaradi boljšega vodenja oziroma naleganja gredi ter izboljšane hlajenja in mazanja. Če so kanali zaviti, gred nikoli ne more obležati v spodnjem žlebu, temveč se nasloni na več žlebov hkrati, kar omogoča manjšo obrabo ležaja, saj je pretočnost vode skozi ležaj večja. Dodatno pospešeno hlajenje in mazanje ležaja omogoča tudi narava zavitosti žlebov, ki lokalno ustvari podtlak v ležaju, kar povzroči povečanje hitrosti. Boljše ko je hlajenje in mazanje, manjša je obraba. Eden izmed pomembnih elementov v sistemu prenosa moči na ladijski vijak je tudi elastična gumijasta spojka, ki v današnjem času pri mehkih vpetjih ne pride v poštev, saj po kratkotrajnem obratovanju svoje funkcije na opravlja več dobro. Pri starih sistemih vpetja motorja, kjer je bil motor pritrjen



9: Izbira zavitega ležaja z desno ali levo vijučnico je pogojena s smerjo vrtenja pogonske gredi.



10: Poškodovani gumijasti elementi v spojki povzročajo tresljaje na celotnem pogonskem sklopu.

neposredno na les brez gumijastih nosilcev motorja in kjer je bilo tesnjenje izvedeno z lojno vrvico, je bilo odstopanje od vzporednosti prirobnic v vseh ravninah (menjalnika in prirobnice) po predpisih tovarne Yanmar in drugih izdelovalcev dovoljeno le nekaj stotink milimetra. Ker pa je bilo to izredno težko doseči, je bila zaželena gumijasta elastična spojka. Novejša vpetja pa predvidevajo gumijaste nosilce motorja, ki preprečujejo prenos vibracij na plovilo. Novejša vpetja predvidevajo tudi zelo pomembno fleksibilno gumijasto cev, ki povezuje trdi del barke (statveno cev) s tesnilnim sistemom. Fleksibilna cev namreč omogoča, da se tesnilni sistem giblje skladno s pogonsko gredjo oziroma motorjem, zato se tesnilni sistem ne poškoduje. Elastična gumijasta spojka (gumijasti zglob) prenaša vrtilni moment in potisno silo, ki jo ustvarja ladijski vijak, zato se gumijasti elementi, poškodujejo, kar je prikazano na fotografijah (10, 11). Na fotografijah je sicer prikazana ena izmed najboljših konstrukcij elastične gumijaste spojke, a žal se tudi ta kmalu poškoduje. Dokler poškodbe, ki so odvisne od časa delovanja elastične gumijaste spojke, niso opazne, spojka ne povzroča težav, ko pa poškodbe gumijastih elementov nastanejo, začne elastična gumijasta spojka opletati. S tem pa tudi gred in posledica so dodatne vibracije. Zato elastična gumijasta spojka pri novejših vpetjih in uporabi fleksibilne gumijaste cevi sčasoma povzroči več škode kot koristi, zato je ne priporočam, saj tehnično ni potrebna. Elastična gumijasta spojka (zvezdasta oblika) pri avtomobilih, ki imajo kardansko gred, pa prenaša samo vrtilni moment (brez potisne sile), zato tovrstnih poškodb gumijastih elementov ni in je njena življenjska doba izrazito daljša.

Šele ko imamo vse naštete elemente pogonskega sklopa pravilno nameščene v plovilo in medsebojno usklajene, lahko rečemo, da pogonska gred učinkovito izpolnjuje svoji glavni nalogi – to sta prenos vrtilnega momenta z motorja na ladijski vijak in posledično prenos potisne sile na plovilo.

Razlogi za zamenjavo

Življenjska doba kakovostne pogonske gredi, ki je bila pravilno nameščena, je navadno izjemno dolga, tako da se pogosto zgodi, da plovilo zamenja lastnika pred potrebno za-



11: Gumijasta elastična spojka kmalu povzroča več problemov kot koristi.

menjavo gredi. Ne glede na vse pa so izredni dogodki tisti, zaradi katerih je treba gred zamenjati. Ena od najpogostejših poškodb je zvrtje pogonske gredi, kar se navadno zgodi zaradi navitja vrvi na ladijski vijak. Gred se lahko zvije tudi zaradi neprimerne ravnanja s plovilom pri dvigu in spustu iz vode ali vanjo, če nosilni trakovi naležejo na pogonsko gred. Gred pa se ne zvije le zaradi mehanskih udarcev oziroma zunanjih sil, temveč tudi, če je bila gred nameščena brez vzajemnega osnega centriranja motorja in nosilca ladijskega vijaka. Največjo pozornost je treba posvetiti pri prvi vgradnji. Nosilec vijaka, pogonsko gred in motor moramo postaviti v isto os, sicer ob privijanju torne prirobnice pogonsko gred silimo v nenaravni položaj in pri tem ustvarjamo napetosti, ki ob vrtenju gredi postajajo še večje. Poznejše menjave gredi z vidika centriranja niso problematične, če ostaneta položaj motorja in nosilca vijaka nespremenjena, sicer pa postopek ponovimo. Ne glede na vse je priporočljivo ob zamenjavi gredi preveriti tudi gumijaste nosilce motorja, ki so pogosto poseдени, material pa je utrujen. Prav neustrezni in izrabljeni nosilci motorja so pogosto vir tresljev, ki povzročijo poškodbe in lom preostalih elementov pogonskega sklopa. Kakršnokoli ravnanje gredi v plovilu ali v "domaćih delavnicah" je neprimerno, saj je nemogoče zagotoviti ustrezno podporo. Pogonsko gred je mogoče poravnati le na posebnih strojih med valjčki. Postopek ravnanja gredi pa zahteva tudi fino brušenje gredi, s čimer se zmanjšata premer gredi in njena korozijska obstojnost. Zato odsvetujem ravnanje pogonskih gredi, kajti ni ne strokovno ne stroškovno upravičen postopek. Drugi razlog za zamenjavo gredi so poškodbe na tesnilnem mestu. Če so na tesnilnem mestu odrgnine, kanali zaradi predhodnega tesnjenja z vrvico ali druge korozijske poškodbe, tesnilni sistem ne tesni več. Poškodbe na gredi se lahko pojavijo tudi na mestu torne prirobnice, če pogonska gred spodrsava v prirobnici. Vzrok spodrsavanja so lahko le neprimerno priviti vijaki na pestu prirobnice ali navitje vrvi na pogonsko gred. Spodrsavanje pogonske gredi v torni prirobnici pri navitju vrvi na ladijski vijak je dejansko varovalo, ki preprečuje večje poškodbe pogonskega sklopa. Spodrsavanje prepreči zvrtje pogon-

ske gredi, zvrtje nosilca ladijskega vijaka ali razrahljanje njegovega vpetja, poškodbe na statveni cevi in podobno. Pogoj za opisano varovalno funkcijo torne prirobnice pa je ustrezen material, iz katerega je izdelana. Bolje je namreč, da neizbežna poškodba nastane na cenejšem in lažje zamenljivem delu. Če pa je obraba pogonske gredi zaradi spodrsavanja tolikšna, da dodatno privijanje vijakov na pestu prirobnice ne zaustavi spodrsavanja, je treba zamenjati gred. Poleg omenjenih poškodb pa zamenjavo pogonske gredi narakuje tudi zamenjava motorja ali njegova prestavitev, pomemben dejavnik pa je tudi zamenjava ladijskega vijaka.

Demontaža pogonske gredi

Večina slovenskih navtičnih navdušencev se sama v okviru svojih hobijev ukvarja s popravilom oziroma obnovo svojih plovil. Zato bom v nadaljevanju opisal ravnanje pri zamenjavi pogonske gredi. Za večino nepotreben, za nekatere pa koristen podatek je, da se pogonsko gred menja izključno, ko je plovilo na suhem (zaradi varnosti pred potopom). Najprej se lotimo demontaže ladijskega vijaka s pogonske gredi. Odvijemo varovalni vijak na matici ladijskega vijaka in matico odvijemo z gredi. Nato vzamemo izvlekač ("abciger") in s postopnim privijanjem vijakov ločimo ladijski vijak od gredi. Zdaj, ko je zadnji del gredi prost, jo moramo osvoboditi tudi na motorni strani. Pogosto so vijaki, ki povezujejo torno prirobnico in prirobnico menjalnika, oksidirani, zato jih poškropimo s sredstvom proti rji oziroma z WD 40 ter počakamo nekaj trenutkov. Odvijemo vijake in prirobnici ločimo. Ko sta prirobnici ločeni, je treba s pogonske gredi odstraniti še torno prirobnico. Če je kljub odstranjenim vijakom v pestu prirobnice trenje med gredjo in prirobnico tako veliko, da jo je nemogoče sneti z gredi, si pomagamo tako, da v režo v prirobnici vstavimo tanko jekleno ploščico. Nato spet vstavimo vijake z nasprotni strani in jih začnemo postopno privijati. Ko vijaki naležejo na vstavljeno jekleno ploščico, se prirobnica razširi, tako da jo lahko brez težav snamemo z gredi. Če vstavljena ploščica ni jeklena oziroma ni dovolj trdna, lahko s privijanjem vijakov v ploščici ustvarimo odtise, ki dodatno otežijo demontažo prirobnice. Zdaj demontiramo še tesnilni sistem in pogonsko gred preprosto povlečemo iz plovila, če nam to dopušča krmilo plovila. V nasprotnem primeru je treba predhodno sneti tudi krmilo. Postopek nameščanja nove gredi v plovilo je enak, le da poteka v nasprotnem vrstnem redu.

Če je za zamenjavo pogonskega sklopa, s tesnjenjem vred, poskrbel strokovnjak ali pa ste ga zamenjali sami z vsemi priporočili, lahko brezskrbno preživite več dopustniških sezon, ne da bi bili potrebni kakršnikoli ukrepi razen tekočega vzdrževanja, kot sta barvanje plovila in nameščanje cinkovih anod, s čimer poskrbite za ustrezno kakovostno zaščito plovila oziroma sklopov. □