
4.3.4 Tengelyrendszer

A hajók *tengelyrendszere* az a berendezés, amely a propulziós főgép forgási energiáját hivatott átadni a hajócsavarnak (illetve más propulziós eszköznek), lehetőleg minél jobb hatásfokkal, illetve amelynek feladata megakadályozni, hogy a hajócsavaron keletkező tolóerők és más igénybevételek átadódjanak a főgépre olyan módon, hogy a hajótesten szilárdan rögzített berendezésnek (*tolócsapágy*) adja át a tolóerőt, amely azt a hajótesthez közvetíti.

A tengelyrendszerek a biztonság szempontjából a hajótesttel azonos fontossági helyet foglalnak el. A hajótest választja el a víziút közegét a hajó belső terétől. A tengelyrendszer részben ezt a funkciót is teljesíti, mivel a tengelyrendszer áthalad a hajótest héjlemezén, egyik vége a vízben van, másik a hajó belső terében. Emellett azonban fontossága abban is jelentkezik, hogy minden üzemzavara a propulzió folyamatának megszűnését jelenti, anélkül pedig a hajó kormányzása is hatástalan, ami kedvezőtlen időjárásban tragédiát okozhat.

Ebben a fejezetben kizárólag a hajócsavarok meghajtására szolgáló tengelyrendszerekkel foglalkozunk.

4.3.4.1 Alapfogalmak

A hajócsavarok tengelyvonala

A hajó több évtizedes élettartama során olyan teljesítményt fog nyújtani, amilyent az a döntés tesz lehetővé, amely a hajócsavar(ok) tengelyvonalának kijelölését jelenti.

A tengelyvonal kijelölése történhet:

- a hajótest tervezési stádiumában, amikor a tengelyvonal kiválasztása alapján a vonalterv még alakítható,
- a kész vonalterv birtokában az adott feltételeknek megfelelően.

A két lehetőség közül az első a kedvezőbb.

Egycsavaros hajó esetében a tengelyvonal helyének a következő feltételeket kell kielégítenie:

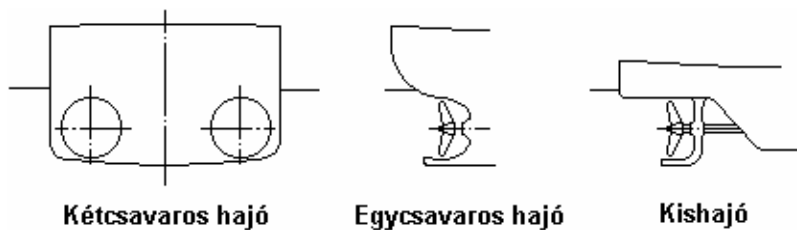
- a beépíthető legnagyobb átmérőjű csavar elhelyezése a nyugalomban levő hajó vízvonala és a hajó alapvonala között biztonságosan,
- a főgép helyének biztosítása a hajótesten belül megfelelő alapozással és hozzáféréssel együtt,
- a tengelyvonal lehetőleg vízszintes vagy minél kisebb ferdeségű legyen.

Két- vagy többcsavaros hajónál ehhez még a következő feltételek csatlakoznak:

- a hajócsavar és a hajótest között megfelelő szabad helyet kell hagyni a vibráció elkerülése érdekében (kb. $0,1D$),
- a tengelyvonalak szögeltérése vízszintes síkban minél kisebb legyen,
- a csavarok körének a főborda-metszet területén belül kell elhelyezkedniük.

Kisebb hajóknál (egy- vagy kétszavarosnál egyaránt) az első és az utolsó feltétel általában nem teljesíthető. Kétszavaros hajóknál annál jobb feltételek között üzemelhet a csavar, minél jobban ki van használva a főborda-metszet, és minél távolabb kerül

egymástól a két csavar. Abban az esetben, ha a csavar legalsó pontja az alapvonal alá kerül, bakot kell elhelyezni, amely a csavart felütés ellen védi. Ennek anyaga valamilyen öntvény, hogy ridegen törjön, ellenkező esetben elhajlik, és a hajócsavar megy tönkre. A következő ábrán ez a megoldás is szerepel, az ábrától eltérően a tengelyvonal erősen ferde is lehet. A ferde beépítés annál erősebb követelmény, minél nagyobb teljesítményű a propulziós berendezés a jármű méretéhez képest. A hajótest használhatósága sem elhanyagolható, mert a főgép sok helyet foglal el, a hajó eredeti célja (személyek vagy áru szállítása, különleges berendezések elhelyezése, pl. tűzoltó-csónak esetén a szivattyú) nem érhető el. Megoldást jelenthet az ún. V-hajtás, amikor a propeller tengelye nagy ferdeséggel van beépítve, de a főgépet nem annak meghosszabbításában elöl helyezik el, hanem felette, különleges kúpkerék-hajtóművön át hajtja meg a hajócsavar tengelyt, tengelye a csavartengellyel fekvő V betűt alkot.



4.3.4.1 ábra
Tengelyvonal
optimális
kiválasztásának
lehetőségei

A kétszaváros hajók tengelyvonalának kitűzése döntően befolyásolja a hajó kormányozhatóságát. A kormánylapát annál hatásosabb, minél nagyobb sebességű áramlásban van elhelyezve. Amennyiben egyetlen kormánylapáttal akarják elérni a kellő hatást, annak nagy felületűnek kell lennie, mert egyetlen lapátot a hajó szimmetriasíkjában kell elhelyezni, ahol a sodortényező miatt a vízáramlás sebessége még a hajósebességet sem éri el. Ezzel szemben mód van két vagy három kormánylapátra is. Kettő esetén mindegyiket a hajócsavarok mögött érdemes elhelyezni, így a hajócsavar által felgyorsított víz nagy sebességgel éri a lapátokat, ezért jó kormányhatásra lehet számítani. A harmadik kormánylapát helye a hajó szimmetriasíkja, ennek hatása ugyan kisebb, de mégis növeli a kormányhatást.

Egyszaváros hajónál a kormánylapát helye a hajócsavar mögött van. Az ábrán látható fartőke biztosítja a kormánylapát alsó csapágyazását. A fartőke elhagyása esetén függesztett lapát alkalmazására van lehetőség, amely ugyan csak kisebb felületű lehet, de a vonalterv megfelelő kialakításával létrehozható a hajócsavar előtt egy keskeny gerinc (deadwood), amely a hajótest melletti vízáramlás viszonyai között a kormánylapát hatását fokozza, virtuálisan megnöveli a lapát felületét, mivel a hajótest keskeny nyúlványa úgy viselkedik, mintha a kormánylapát metszetének meghosszabbítása lenne.

Folyami hajóknál, különösen vontató- vagy tolóhajóknál a méretek (kis merülés a sekély víz miatt) korlátozzák a hajócsavarok méretét, a követelmények (teljesítmény, tolóerő) azonban magasak, ezért amellett, hogy gyűrűben dolgozó hajócsavart érdemes alkalmazni, a csavarokat alagútban szokták elhelyezni, amikor a gyűrűnek csak mintegy 65-70%-a marad meg, a terület többi részén a hajótestből kialakított alagút helyettesíti.

Emiatt a gyűrűn keletkező tolóerőnek csak ugyanilyen aránya vehető számításba. A folyami hajók szélessége ugyanakkor tekintélyes is lehet, ezért a főgépek jól elhelyezhetők.

A *tengelyvonal* kitűzésénél két követelmény ellentmond egymásnak: szilárdság szempontjából minél rövidebb tengely kell, a megfelelő elhelyezhetőség (csavar, főgép) viszont hosszabb tengelyt igényel, mivel csak így elégíthető ki az a harmadik követelmény, hogy a tengelyvonalnak lehetőleg párhuzamosnak kell lennie a hajó hossz tengelyével és az alapvonallal a tolóerő jó hasznosítása érdekében.

A géptér helye

A géphajók kezdeti időszakában nagy súlyú berendezésekkel csak kis teljesítményt lehetett előállítani, ezért kizárólag a hajótest középrészén volt arra lehetőség, hogy a gépteret ki lehessen alakítani. A rakterek a *géptér* előtt és mögött helyezkedtek el. A teherszállító gőzhajóknál ez az elrendezés hosszú ideig uralkodó volt, a fargéptér csak a 20. század közepén kezdett megjelenni.

A korszerű propulziós főgépekkel és propulziós eszközökkel minden változatot meg lehet valósítani, így a hajó funkciója a döntő a géptér helyének kiválasztásában.

A kereskedelmi hajók legnagyobb hányadát adó teherszállító hajóknál ma a fargéptér kizárólagos. Előnye, hogy szinte minden terhelési esetben, akár rakomány nélkül is a hajócsavar(ok) merülése biztosítva van, mivel az üres hajó olyan mértékű fartrimmel úszik, hogy a hajócsavar(ok) a kisebb merülésnél is víz alatt marad(nak).

Azok a hajók, amelyek merülése viszonylag független a terheléstől (személyszállító hajók, kikötői vontatók, folyami vontató- és tolóhajók), ma is változatlanul a középső géptér elve alapján épülnek, mivel fargéptérrel nem lehetne biztosítani a vízszintes úszáshelyzetet.

A géptér a hajótestben van kialakítva, a hajó teljes szélességét foglalja el, függőlegesen a főfedélzetig terjed. Hátsó és mellső határoló válaszfala vízmentes. A géptér feletti főfedélzeti felépítménynek vagy fedélzeti háznak a hajó szimmetriasíkjában levő középső része a *gépakna*, amelynek hosszabbnak kell lennie a leghosszabb gépegység hosszánál (ez rendszerint a főgép), szélességének pedig nagyobbak kell lennie a főgép szélességénél, illetve kétcsavaros hajónál a főgépek súlypontjának távolságánál, hogy azokat ki lehessen emelni a gépagnán keresztül. A gépakna a felépítmény vagy fedélzeti ház legfelső fedélzetéig terjed, és teljes méretében nyitható.

A két főgép között a hajóosztályozó intézetek által előírt távolságnak kell lennie, és a főgépeket biztonságosan körül kell tudni járni.

A tengelyrendszer szerepe és felépítése

A tengelyrendszer fő feladata kettős:

- c) A főgép nyomatékának átadása a hajócsavarra.
- d) A hajócsavaron ébredő tolóerő átadása a hajótestnek.

A tengelyrendszer általában a következő darabokból van összeállítva:

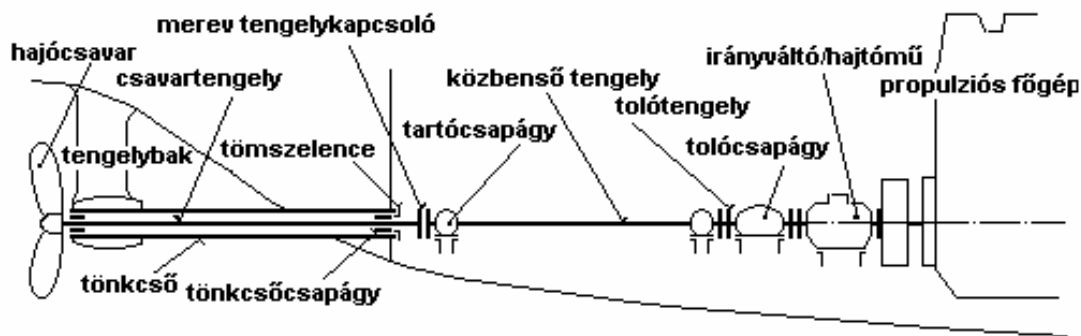
1. hajócsavar tengely, amelynek végére a hajócsavar van felszerelve,
2. közbenső tengely(ek), amely(ek) a legkisebb átmérőjű tengely(ek),
3. tolótengely, amely a nyomaték mellett a tolóerő átadására szolgáló tolócsapágy hordozója.

Ettől a fargépteres hajók annyiban térnek el, hogy rendszerint kimarad a közbenső tengely, mivel a tengelyrendszer hossza nem teszi szükségessé.

Kishajók esetében előfordul, hogy mindössze egyetlen tengelyt alkalmaznak.

4.3.4.2 A tengelyrendszer fő egységei

Egy tengelyrendszer a 4.3.4.2.1 ábrán látható elemekből épül fel.



4.3.4.2.1 ábra Szokásos hajó-tengelyrendszer felépítése

Fargépteres hajónál a tengely csak a géptér hátsó vízmentes válaszfalán halad át, itt van befogva a tönkcső mellső vége, és itt van az egyetlen *tömítő-szelence*. Hosszabb tengely több vízmentes válaszfalon is áthaladhat, minden vízmentes válaszfal-átmenetnél tömítőszelencét kell elhelyezni.

4.3.4.2.1 Tönkcső

A *tönkcső* az a szerkezeti egység, amely a tengelyrendszer vízmentes átvezetését valósítja meg a hajót testen. A tönkcső mellső vége a hajófarhoz legközelebbi vízmentes válaszfalban, hátsó vége egycsavaros hajónál a *fartőkében*, többcsavaros hajónál a *nadrágcsőben* vagy a *tengelybakban* van rögzítve szerelhető módon. Mellső vége tömítő-szelencével van ellátva, hátsó vége gyakorlatilag tömítetlen, ezért a tönkcső belseje a hajót testen kívüli térnek számít. A külső víz behatolását az akadályozza meg, hogy a csapágy kenőanyaga (víz vagy olaj illetve zsír) nyomás alatt kerül a tönkcső belsejébe, és az elhasznált kenőanyag a külső víz hidrosztatikus nyomását legyőzve a külső víztérbe távozik.

A tönkcsőben – hosszától függően – legalább két helyen van megcsapágyazva a csavartengely. Mivel a tengely a *sólyatéren* kerül beszerelésre, a csapágyaknak

különböző átmérőjűeknek kell lenniük, hogy a szerelést megkönnyítsék. A mellső végén levő tömszelence általában a mellső csapággal egy egységet képez.

Három jellegzetes típusú *tönkcső-konstrukció* ismert: egycsavaros hajó fartőkével, kétszavaros hajó válaszfaltól tengelybakig terjedő tönkcső és kétszavaros hajó nadrágcsővel.

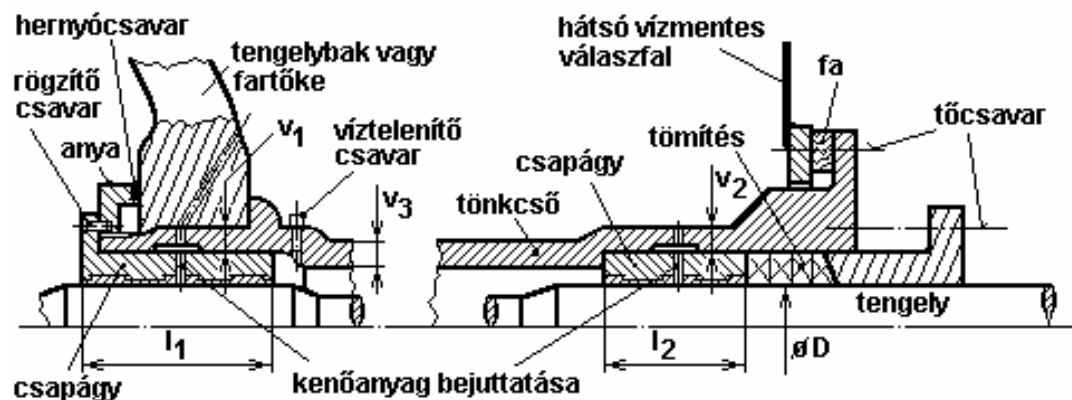
Egycsavaros hajó fartőkével

A tönkcső konstrukciója lényegében megegyezik a tengelybakig végigvitt megoldással, amelyet a következőkben ismertetünk.

Kétszavaros hajó válaszfaltól tengelybakig terjedő tönkcsővel

Egy darabból készült, leginkább öntöttvas, szerelhető konstrukció. A csapágyak anyaga olyan fém (bronz vagy csapágyfém), amelyet ásványi kenőanyaggal lehet üzemeltetni, vagy vízkenés esetén fa illetve gumi.

A 4.3.4.2.1.1 ábra a tönkcső szerkezeti felépítését mutatja.



4.3.4.2.1.1 ábra Válaszfaltól tengelybakig terjedő tönkcső szerkezeti felépítése

Az ábra olyan öntöttvasból készült konstrukciót mutat, amelyben ásványolajtermékkel kent fémcsapágyak vannak elhelyezve. Ilyen esetben a csapágyak kenésére megfelelő olaj- vagy zsírtáplálást kell biztosítani. A kenőrendszer nagyobb nyomása megakadályozza a külső víz behatolását, a nyomás csökkenése azonban a kenőanyag felhígulását eredményezheti. A környezet szempontjából nem kedvező megoldás, bár a kijutó elhasznált kenőanyag általában nem jelentős mennyiségű.

Amennyiben a vízkenést választjuk, a csapágyak anyagát ennek megfelelően kell kiválasztani. Sok évtizedig a *pockfa* (egy trópusi fenyőfajta) volt az az anyag, amelyből készült lécek hosszú élettartamot tudtak elérni a megfelelő kenés esetén. A fáléceket a lécszerűen kialakított vulkanizált gumifelület váltotta fel, az utóbbi időben ez a megfelelő vízkenésű csapágyanyag. A természetes guminál a polimerizált gumiszerű műanyagok (elasztomerek) jobb paramétereket mutatnak és előállításuk egyrészt olcsóbb, másrészt a gyártási folyamat jobban tartható.

Az ábrán alkalmazott jelölések jelentése (szokásos méretek):

BBBZ-kódex

| | |
|-------|---|
| D | a csavartengely futófelületének átmérője |
| l_1 | a tengelybakban (vagy fartókében) levő csapágypersely hossza $\approx 4-5D$ |
| l_2 | a válaszfalban levő csapágypersely hossza $\approx 1,5-3D$ |
| v_1 | a tönkcső falvastagsága a bakcsapágnál $\approx 1,5-1,8v_3$ |
| v_2 | a tönkcső falvastagsága a válaszfal-csapágnál $\approx 1,25-1,5v_3$ |
| v_3 | a tönkcső falvastagsága a két csapágó között $v_3 = D/20 + 20$ mm |

A csapágyerselyekben megengedhető csapágyterhelés közepes értéke:

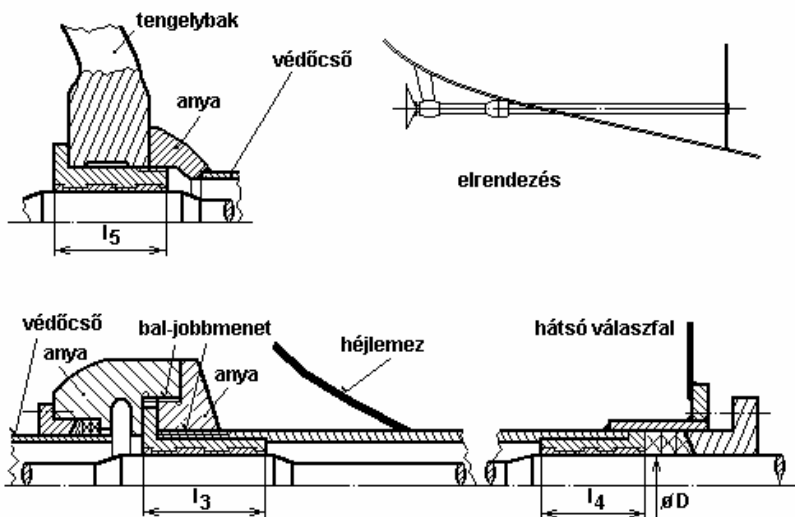
$$k = 1,4 \text{ dN/cm}^2$$

Kisebb hajók és tengelyátmérők esetén ugyanez a konstrukció alkalmas gördülőcsapágyas megoldáshoz, de ott a hajóipari gyakorlat helyett az általános gépészeti elvek irányadóak.

Kétszavas hajó nadrágsővel

A *tengelybak-csapágy* és a *válaszfal-csapágy* konstrukciós megoldása hasonló az öntöttvas tönkcsőben elhelyezett megoldáshoz, van azonban két jelentős különbség:

1. a tengelybak-csapágy a tönkcső védőszerének elmaradása miatt teherbíróbb kivitelű,
2. a tönkcső a leghátsó vízmentes válaszfalba be van hegesztve és két csapágyerselyt hordoz, a tengely a bakcsapágy és a tönkcső között tömített módon rögzített nadrágsőben fut, amely biztosítja a tönkcső külső víztérhez képesti túlnyomásának fenntartását.



4.3.4.2.1.2 ábra
Válaszfaltól hajófalig
vezetett tönkcső
nadrágsővel

A védőcső
falvastagsága
megközelítőleg
meggyezik a hajó
héjlemezének
vastagságával.

A 4.3.4.2.1.2 ábra
ilyen tönkcső-kivitel

mutat.

A szokásos méretek:

| | |
|-------|--|
| D | a csavar-tengely futó-felületének átmérője |
| l_3 | a tönkcső hátsó végénél levő csapágyersely hossza $\approx 3-4D$ |

- l_4 a válaszfalban levő csapágypersely hossza $\approx 2-3D$
 l_5 a tengelybakban levő csapágypersely hossza $\approx 2D$

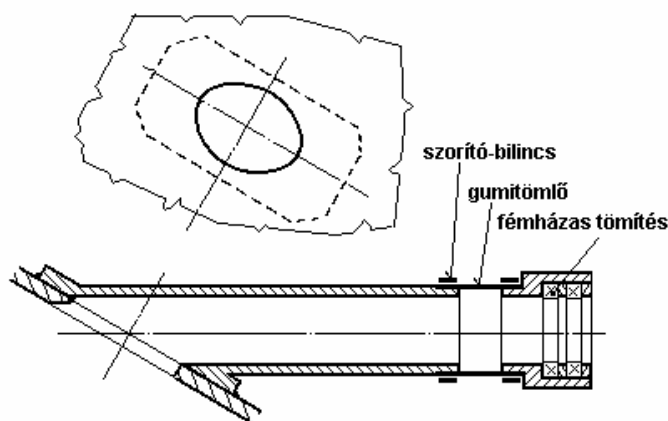
Az ábra vízkenésű csapágyakkal üzemelő tengelyrendszert mutat, nincs külön kenőanyag hozzáfűzetés, a kenővizet a hátsó vízmentes válaszfalon elhelyezett csőcsatlakozó juttatja a szivattyútól a tönkcsőbe (a rajzon nem szerepel). A tönkcső acélból (leginkább hengerelt vastag-falú csőből hegesztett szerkezet, maga a tönkcső a hátsó vízmentes válaszfalba és a hajó héjlemezébe merevítő karimával van behegesztve. a válaszfalon tömítő-szelence van elhelyezve, ez akadályozza meg a hajó belső tereinek elárasztását, emellett még egy tömítő-szelence van a tönkcső hátsó vége és a védőcső (nadrágcső) között. Ennek jelentősége csak annyi, hogy megakadályozza a tönkcső belsejében levő kenővíz és a külső víztér közlekedését.

A védőcső a tengelybak és a tönkcső hátsó vége közé van iktatva, védi a tengelyt a közvetlen fizikai hatásoktól és kizárja a külső vízteret. A védőcső hátsó végére felhegesztett anyaga a bakcsapágy-persely külső palástjára vágott menetre csatlakozik. Másik vége a tönkcső hátsó végére csatlakozó anya-párban kialakított tömítő-szelencében foglal helyet.

A három csapágypersely is mutatja, hogy ilyen kialakítás esetén a csavartengely hosszabb az előző megoldásnál.

Kishajók és beépített tengelyrendszerű motorcsónakok tönkcsőve

A hajóméret csökkenése bizonyos határ alá már minőségi különbséget jelent. A legjelentősebb különbség, hogy a tönkcsőben nem alkalmaznak csapágyat, a csavartengely leghátsó szakasza konzolos kialakítású, amelyet a gumiházaz rugós tömítőgyűrűvel (Simmering) lezárt rövid tönkcsővön át vezetnek ki a hajótesten át, a következő ábra szerint.



4.3.4.2.1.3 ábra
Csapágypersely nélküli tönkcső kishajóknál

A tönkcső többféle anyagból készülhet, a legolcsóbb az öntöttvas. Ennek előnye az is, hogy igen kevésbé hajlamos a korrózióra, különösen a szokásos Mo és Ni ötvöző-tartalom esetén.

Alkalmazható az öntött acél is, de az drágább és erősebben korrodál. Előnye ugyanakkor a jobb hegeszthetőség. A viszonylag kis falvastagságok miatt a hegesztés gyakran okoz deformációt, amit figyelembe kell venni tervezésnél. A legkisebb méretű járművek a könnyűfémeket predesztinálják, mert ezeknél a héjlemez anyaga alumínium.

A gépi megmunkálás elkerülése érdekében a vállak úgy is kialakíthatók, hogy három darabból hegesztve készül, a középső kisebb falvastagsággal.

Csapágyak

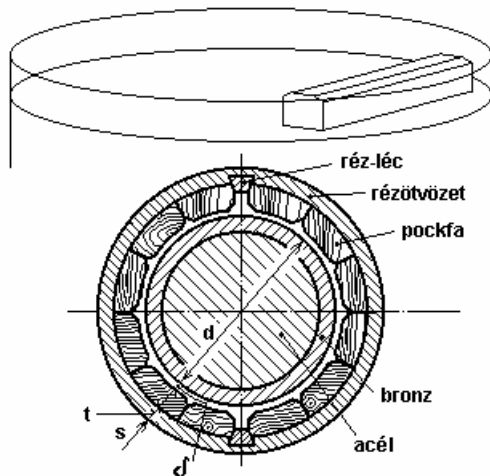
A tönkcső és tengelybak *csapágyai* az esetek döntő többségében sikló-perselyek. A csapágyak konstrukcióját elsősorban a kenőanyag határozza meg, ez lehet víz, olaj illetve zsír vagy olajos víz.

1. Vízkenésű csapágyak

A hajócsavar tengely rézötvetű futófelületet kap, a csapágy csúszófelülete fa vagy gumi.

(a) A tönkcsőben alkalmazott *vízkenésű csúszócsapágyaknál* a legrégebbi siklóanyag a *pockfa* (*lignum vitae*, *guaiacum officinale*). Rendkívül kevés üreg van benne, a gyanta mindent kitölt. Ez az oka, hogy annyira kevés vizet vesz fel, illetve vízbe merítve alig dagad meg. Eredeti víztartalma 12%. Homogén szerkezetű, nem reped. Fája kemény, nyomószilárdsága 8.000 dN/cm^2 körül van. A pockfa akkor telítődik teljesen, ha meleg vízben áztatják. A fentiek miatt ellenálló a gombákkal, termeszekkel és a tengeri fűrőférgekkel szemben. Ezek a tulajdonságok teszik alkalmassá csapágyersely-betétként való alkalmazásra.

A 4.3.4.2.1.4 ábra a pockfa léceknek a fatönkből való kimunkálásának pozicionálását és a működő pockfa-csapágy keresztmetszetét szemlélteti.



4.3.4.2.1.4 ábra Pockfa lécekből készített tönkcsőcsapágy keresztmetszete

A pockfa a trópusi Dél- és Közép-Amerikában őshonos fenyőfajta, erősen gyantás, emiatt tömör szerkezetű, átlagos sűrűsége $\rho = 1.050 \text{ kg/m}^3$.

Kemény fája és fényes felülete kiválóvá teszi dísz tárgyak készítéséhez is. Keressettsége miatt ma már nagyon ritka. Emiatt, és az

egyetemes környezetvédelmi elvek értelmében olyan anyagot fejlesztettek ki, amely használhatóságát tekintve egyenértékű a pockfával, ugyanakkor újratermelhető, ez a gumi.

A pockfa kedvező tulajdonságai ellenére kopik, a kopás az idővel exponenciálisan nő. A kopás a tengely alátámasztását koncentrálttá teszi, ezért a tengely – mivel a semleges szál a szilárdságtan szabályai szerint a támaszok és a terhelés által meghatározott görbe alakot veszi fel – állandó hajtogatásnak van kitéve és elfárad. Ez okozza a fémcsapágyakkal szemben a gyakoribb tengelytörést. A csapágylécek élettartama nagyjából megegyezik a fém-csapágyak élettartamával.

A pockfa-csapágyinak az ábrán látható szokásos méretei a következő táblázat szerint választhatóak ki.

| d [mm] | δ [mm] | t [mm] | s [mm] |
|--------|------------------|--------|--------|
| 150 | 0,75 új, 4 csere | 20 | 10 |
| 200 | " | - : - | - : - |
| 300 | " | - : - | - : - |
| 500 | " | 30 | 20 |

A pockfa csapágyak belvízi hajónál nem alkalmazhatóak a víz szennyezettsége miatt. A lebegő kvarchomok beékelődik a gyantába, és komoly tengelykopást okoz. A fa-csapágyak ma már nagyon ritkán kerülnek alkalmazásra.

- b) A jelenleg alkalmazott vízkenésű tönkcső-csapágyak szinte kizárólag természetes vagy polimerizációs eljárással gyártott gumiból készülnek. Az utóbbiak anyaga leginkább polietilén. Megoldása szerint a gumicsapágy léces vagy egyben vulkanizált kivitelű. Léces megoldásnál a gumit fémlemez tepsiben készítik. A tengely és a csapágyfelület között biztosítani kell rést a kenéshez, amelynek mérete 0,0015 d, ahol d a tengelyre húzott bronz futóhüvely külső átmérője.

A természetes gumi az olajra nagyon érzékeny. A polimerizációval készült anyagok olajállóak, ezért használhatóak olajos-víz kenőanyag esetén is. A gumi sokkal kopásállóbb a pockfánál (az egyik Duna-tengerjáró hajó 1937-ben épült, és 1963-as felújításáig ugyanaz a természetes gumiból készült csapágy szolgálta ki). A gumi keménysége 40-70 shore (radírguminak felel meg). Tengervíznél keményebb anyagot lehet használni, mivel tiszta a közeg, folyami hajóknál a szennyezett vízben a lágyabb anyag a kedvező.

A gumicsapágy kisebb kopása és csillapító hatása miatt a tengelytörések számát csökkenti.

A vízkenéssel kapcsolatban meg kell állapítani, hogy az összes változat közül a legmegbízhatóbb. Ennek két oka van:

1. mivel a hajót minden oldalról víz veszi körül, nem áll fenn az a veszély, hogy elfogy a kenőanyag,
2. mivel a víz nagy mennyiségben átáramlik a csapágypersely résein, a tengely kenése mellett más funkciókat is ellát:
 - átöblíti a csapágyperselyt, ezzel tisztítja a súrlódásban érintett felületeket,
 - mennyiségénél fogva képes a súrlódással keletkező hő felvételére, így hűti a csapágyperselyt.

2. Olaj- és zsírkenésű csapágyak

Olaj- és zsírkenésű csúszócsapágyaknál a hajócsavar tengely nem kap futóperselyt, futófelülete maga a tengelycsap, a csapágy csúszófelülete lehet

BBBZ-kódex

- sima öntöttvas persely,
- öntöttvas persely fehérém béléssel,
- sárgaréz persely kisebb hajóknál.

- (a) Öntöttvas perselyt külön bélésanyag nélkül ott lehet használni, ahol a csapágyban a súrlódás miatt keletkező hő nem teszi szükségessé a komolyabb megoldást. A kenőanyag lehet maga a főgép kenőolaja, amelyet a főgép olajrendszeréből juttatnak a tönkcsőbe és onnan vissza. A hűtést és szűrést így a főgép rendszerei látják el.
- (b) Fehérém bélésű öntöttvas perselyt a legnagyobb átmérőjű tengelyeknél alkalmaznak, mivel ezeknél a tengelyrendszereknél igen nagy a csapágyban a felületi terhelés, és emiatt jelentős a keletkező hő is. A kenőanyag leginkább nagy viszkozitású hajtóműolaj, amelyet a főgép által meghajtott keringető rendszer mozgat, a súrlódással keletkező hőt hűtéssel távolítják el, és az olajnak megfelelő szűrést is kell biztosítani.
- (c) A bélés nélküli sárgaréz csapágypersely kisebb terhelésű helyeken tökéletes, a kopott perselyt egyszerűen kicserélik, a régi újra-hasznosítható beolvasztással. Igényesebb megoldás esetén a sárgaréz perselyt el lehet látni fehérém béléssel.

Az olaj- és zsírkenés hátránya az, hogy a tönkcső hátsó végét is megfelelően vízmentesre kell készíteni, megfelelő tömitést kell biztosítani.

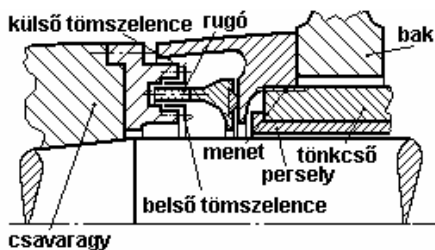
Előnye ugyanakkor, hogy a tengelyre nem kell bronz futóhüvelyt felhúzni, a tengely saját felülete a futófelület.

Régebben folyami hajóknál kizárólagos volt a szennyezett víz miatt, a gumicsapágyak azonban ki tudták váltani.

Az olaj- és zsírkenés legújabb változata, főleg kisebb hajóknál, a *gördülőcsapágyas* konstrukció. Erre először 1939-ben került sor, ma már üzembiztos megoldás, kizárólag az építési üzemeltetési költségek elemzése dönti el, melyik a kedvezőbb változat.

Tönkcső-tömitések

A tönkcső az elmondottak alapján vízkenésnél csak a mellső végén, olaj- és zsírkenésnél mindkét végén tömitett konstrukciójú.

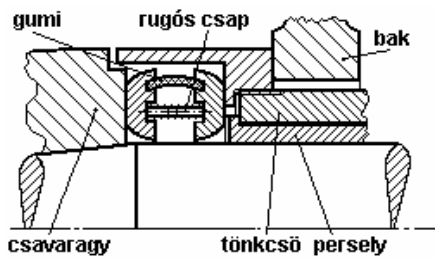


4.3.4.2.1.5 ábra *Cederwall* tömités olajkenésű tönkcső hátsó végénél

A tönkcső mellső vége a hátsó kollíziós válaszfalon (ez leginkább a géptér hátsó vízmentes válaszfala) van rögzítve, az itt alkalmazott tömitőszelencék a szokásos gépészeti megoldásoktól nem

térnek el.

Tömitett hátsó végű tönkcsőnél több szabadalmaztatott megoldás létezik, pl. *Cederwall*, *Mac Nab*, *Simplex*, *Ganz* (magyar).



4.3.4.2.1.6 ábra Mac Nab tömítés olajkenesű tönkső hátsó végénél

A *Simplex* tömítésnél a tömítő-felület a tengelyre felhúzott és a csavaragyhoz rögzített kemény acélcső külső hengeres felülete. A tömítés a tönkső hátsó végéhez illetve a tengelybakhoz vagy fartőkéhez erősített házon belül helyezkedik el, maga a tömítés rugóval a futófelületre szorított profilos gumigyűrű. A tömítés házán belül 0,2-0,3 bar olajnyomás uralkodik.

A *Ganz* tömítés az előző megoldás leegyszerűsített változata.

Ezeknek a szerkezeti elemeknek a tervezésével és gyártásával a nagyobb hajógyártó és a hajóépítési felszerelések beszállítására specializált cégek foglalkoznak. Egyedi hajók építésénél saját konstrukció helyett megbízhatóbb megoldás a kiforrott termékek beépítése.

A tengelyvég kialakítása a hajócsavar részére

A hajócsavar geometriájának ismertetésénél már volt szó a hajócsavar-agy kialakításáról. A *hajócsavar-tengely vége* az az alkatrész, amely a csavaragyhoz csatlakozik. Bár rutin gépészeti feladatnak látszik, a tengelyvég és a hajócsavar-agy csatlakoztatása tartalmaz néhány különlegességet.

Az első ezek közül, hogy igen nagy tömegterhelések és terhelőerők vannak. Szokásos folyami hajóknál az egy csavarra jutó teljesítmény a 250 és 700 kW tartományban van, tengeri hajók esetében ez akár két nagyságrenddel is nagyobb lehet.

A másik különlegesség, hogy bármilyen műszaki hiba esetén a csavarhoz gyakorlatilag csak víz alatt lehet hozzáférni.

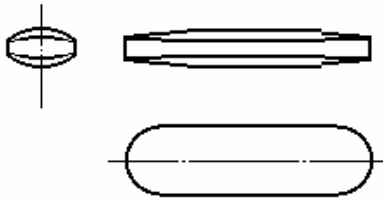
A különlegességekhez sorolható még a torziós lengések fontossága: az egyik gerjesztő forrás a főgép, főként, ha dugattyús gép – ami az esetek többségében igaz –, a másik pedig a hajócsavar, amely beépítési módjától függően más-más mértékben, de mindig változó sodormezőben dolgozik, tehát egyes fázisszögeknel a csavar lefékeződik, ilyenkor a forgásiránnyal ellentétes értelemben ható elfordító nyomaték hat rá, más helyzetekben pedig előresiet, amikor a tengelyen a forgásiránnyal megegyezően próbál elfordulni. A csavar átmérőjét és a tengelyvég középátmérőjét tekintve kb. tízszeres a viszonyszám, tehát a csavarra ható erők egy nagyságrenddel nagyobb erőknek adnak át a tengelynek.

Ezek a tényezők teszik szükségessé, hogy a hajócsavar két független rögzítési móddal van a tengelyvégre felerősítve, és ezeket mintegy fél tucat biztosítási megoldás teszi biztonságossá.

A két rögzítés egyike a retesz, a másik a súrlódás, amely a kúpos tengelyvég és a csavaragy között ébred.

1. Retesz

A *retesz* alakja eltér a szokványos formáktól, szappanalakú, amint az a következő ábrán látható.



4.3.4.2.1.7 ábra Hajócsavar-agyban és tengelyvégben alkalmazott retesz alakja

Az alsó és felső felület közepén hengerpalást, amely a végeken gömbsüvegbe megy át. Felülnézetben lóverseny-pálya formájú.

A csavaragyban kialakított reteszhorony nem tér el a gépipari szokványtól, szélessége és magassága átmeneti illesztéssel készül.

A tengelyvégben a fészek keresztmetszetét a retesz középső részének keresztmetszete határozza meg, szélessége szoros illesztésű. Hosszanti irányban a fészek általában megfelel a retesz formájának, van azonban olyan kialakítás is, amikor a horony a tengelykúp hátsó, kisebb átmérőjű végén a menethoronyba fut ki. Ez lehetővé teszi a retesz utólagos beillesztését a horonyba.

2. A súrlódás közvetítésére képes tengelykúp

A tökéletes érintkezést a tengely és a csavaragy felülete között a megmunkálás nagy pontossága biztosítja. A technika mai állása szerint ez szinte teljes egészében megoldható gépi megmunkálással, az összeszerelés előtti ellenőrzésnek azonban nem csökkent a szerepe a korábbi eljárásokhoz képest.

Azokban a hajógyárakban, ahol nincs meg a felkészültség a gépi megmunkálás ilyen színvonalához, a hagyományos módon járnak el. Ez azt jelenti, hogy a tengelyvéget – mivel azt egyszerűbb berendezésekkel is pontosan meg lehet munkálni, kész állapotba hozzák, és ahhoz illesztik a hajócsavar-agy furatát kézi művelettel. A furat kézi megmunkálása azért is előnyösebb a tengelyvég megmunkálásánál, mivel a csavar általában lágyabb anyagból készül.

A furatot ezt megelőzően a rendelkezésre álló gépi megmunkáló-eszközökkel a kézi illesztéshez szükséges ráhagyással munkálják meg, a kézi művelet pedig a következőképpen jellemezhető.

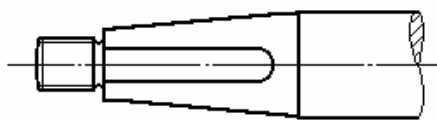
- (a) El kell készíteni a helyszínen – szerelőcsarnokban vagy szabad területen – egy olyan aknát, ahova daruval függőlegesen be lehet engedni a hajócsavar-tengelyt, és azt úgy meg lehet fogni valamilyen készülékkel, hogy a csavaragy fogadására szolgáló kúpos tengelyvég a dolgozók számára a legkényelmesebb munkahelyzetet biztosítsa.
- (b) Daruzási lehetőség kell ahhoz, hogy a csavart számtalan alkalommal a tengelyvégre rá lehessen engedni.
- (c) A csavaragy furatát és a tengelykúpot megtisztítják, és a tengelykúpot erre a célra szolgáló kék festékekkel – tusírozó festék, mivel a művelet a tusírozás – bekenik. A csavart ráengedik a kúpra, és a tervezők által előírt nyomatékkel meghúzzák a menetes tengelyvégre csavart szerelőanyát (ez lényegében készülék, a beszerelt hajócsavarhoz az egyszeri használatos tengelyvég-anyát alkalmazzák). A szerelőanya a két felületet szoros érintkezésbe hozza, azt, hogy mennyire tökéletes ez az érintkezés, akkor lehet megállapítani, amikor a szerelőanyát lecsavarják és a

daruval lehúzzák a csavart a tengelyről. Az érintkezés a tengelykúpról a csavaragy felületére átkénődött festék fedéséből értékelhető. A művelet első lépésénél ez általában 50% alatt van.

- (d) Kézi tusírozó eszközökkel (kaparókkal) azokat a felületrészeket munkálják meg a csavaragy furatában, ahol érintkezés volt. Ezzel lehetővé válik a többi felület-elemnek is, hogy a tengelykúppal kapcsolatba jöjjön. A kézi megmunkálás első lépése után ismét festés, felszerelés, meghúzás és leszerelés következik, majd értékelés. Ezt a műveletet annyiszor kell megismételni, amíg az érintkezés eléri a 90%-ot.

A csavar felszerelése a sólyatéren történik, ez alkalommal a retesz is bekerül a helyére, és a *tengelyvég-anya*t is a helyére húzzák, majd megfelelően biztosítják.

A szokásos kialakítást az alábbi ábra mutatja.



4.3.4.2.1.8 ábra Hajócsavar-tengelyvég kúpjának kialakítása

A tengelyvég menetének ellenkező emelkedésűnek kell lennie, mint a hajócsavarnak. Amikor ugyanis a főgép a hajócsavart meghajtja, különösen a gyorsítási szakaszban, az előremeneti forgásiránnyal ellentétes értelmű nyomaték próbálja lecsavarni a hajócsavart a tengelyvégről (jobbemelkedésű csavarnál balra). Ezt csak úgy lehet megakadályozni, hogy a csavaragyhoz biztosított tengelyvég-anya felcsavarodását idézzük elő (jobbemelkedésű csavarnál ez balmenetet jelent, és fordítva).

A *tengelyvég kúposága* függ a tengely átmérőjétől és a kúp hosszától. Közelítésképpen alkalmazhatóak a következő táblázatban levő adatok, amelyek a tengelyátmérő tartomány függvényében közlik a gyakorlatban jól bevált értékek a tengelyvég kúposágára vonatkozóan.

| Tengelyátmérő tartomány [mm] | Kúposág |
|------------------------------|---------|
| 100 alatt | 1 : 10 |
| 100-200 | 1 : 12 |
| 200 felett | 1 : 15 |

A kúp hossza annyiban befolyásolja a kúposág mértékét, hogy minél hosszabb a kúp, annál kisebb kúposágot alkalmaznak.

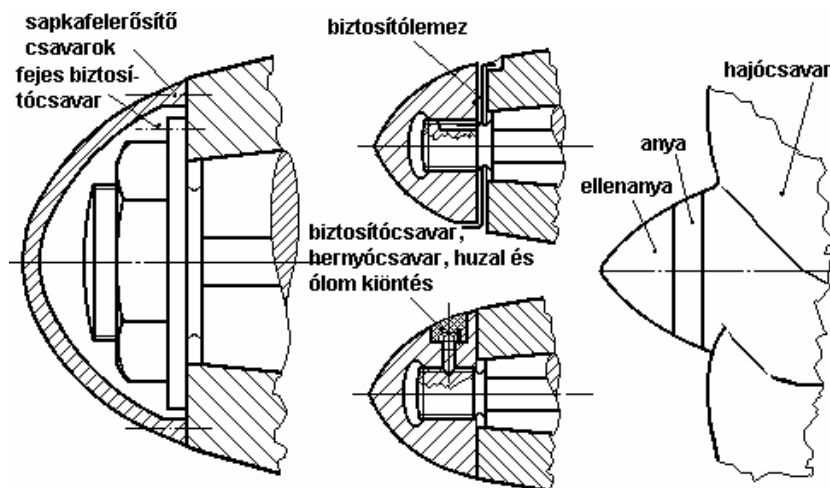
A tengelyvég-anya biztosítása

Nem elhanyagolható fontossága van a hajócsavart a helyére szorító anya rögzítésének. Az anya kialakítása kisebb tengelyátmérőnél olyan, hogy egyben a *csavarkúpot* is alkotja, vagyis az áramvonalas formába munkálják bele azokat a felületeket, amelyek segítségével a kívánt nyomatékra meg lehet húzni.

Nagyobb méreteknél az anyát szabványos formára alakítják ki, de peremesre, és a csavar mögé áramvonalas formájú sapka kerül.

A biztosítás mindegyik alkatrészénél létfontosságú.

A 4.3.4.2.1.9 ábra több megoldást mutat.



4.3.4.2.1.9 ábra
Tengelyvég-anya
(csavarkúp)
biztosításának
módjai

Látható az ábrákból,
hogy a hajócsavar
tengelyt minden
biztosítási módnál
valamilyen módon
fel kell használni a

biztosító gépelemek rögzítéséhez. Ez is hozzájárul ahhoz, hogy a csavartengely mintegy 5%-kal jobban túl van méretezve a többi tengelynél.

4.3.4.2.2 A tengelyek csapágycsoportjai

Tartócsapágyak

A propulziós tengelyrendszer *közbenső tengelyeinél* – amelyek nem hordozzák a hajócsavart és nem feladatuk a tolóerő átadása – a tengely igénybevétele csavarónyomaték és axiális tolóerő (illetve húzóerő hátramenetnél). A tengelyeknek csak *tartócsapágyakra* van szükségük, amelynek leginkább a tengely súlyát kell viselniük. A hajóépítési előírások (hajóosztályozó intézetek illetve nemzetközi szervezetek utasításai) a tengely méreteiből kiindulva megszabják a csapágyak távolságát. Alapvető, hogy minden tengely (legalább) két tartócsapágyban fusson.

A csapágyak a legtöbb esetben *gördülőcsapágyak*, amelyek szerelése a tengelyen vállmentes, hogy lehetővé tegyék az axiális elmozdulást, ezzel a tengelyben járulékos axiális igénybevétel nem ébred. A házak a lehető legegyszerűbb tömített öntöttvas vagy öntött acél konstrukciók.

Nagyobb átmérőjű tengelyeknél előfordulnak a *siklócsapágyak*. Maga a futófelület a gépgyártásban alkalmazott szokásos anyagból készül, mivel azonban a csapágybetét terhelése függőleges súlyterhelés, alkalmazzák azt a megoldást, ahol csak kb. 120 fokos (egyharmad) körülfogású a persely.

Toló-csapágy

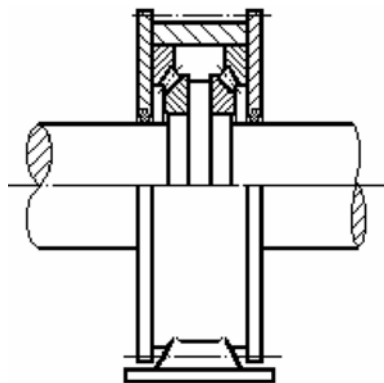
A *toló-csapágy* olyan teherbírású csapágyrendszer, amely az esetek többségében önbeálló radiális és kétirányú axiális csapágyat foglal magában. A toló-csapágy a *toló-*

tengelyre van szerelve, a hajócsavar által keltett tolóerőt, amelyet a csavartengely, a közbenső tengely és a toló-tengely, valamint a merev tengelykapcsolók közvetítenek hozzá, a hajótestre adja át. A hajótestben a toló-csapágy részére megfelelő alapot képeznek ki, ez általában része a főgép alapozásának.

A toló-csapágy legrégebbi kivitele siklócsapágy-konstrukció. A legkiforrottabb ezek közül a *Mitchell csapágy*, amely önbeálló papucsockat használ siklóelemekként, az álló felület, amelyen a papucsock csúsznak, körgyűrű alakú. Ezt a megoldást használják ma is a legnagyobb átmérőjű tengelyrendszereknél. A papucsock felületi terhelése kb. 20-30 dN/cm². A csapágy hatásfoka 99%, a hővé alakuló 1% tekintélyes hőmennyiség, amelyet el kell vezetni, ezért a csapágy hűtését biztosítani kell.

Kisebb tengelyátmérők esetében megvalósítható a toló-csapágy gördülő csapágyakból is. Kisebb teljesítményeknél a *mélyhornyú csapágyak* is megfelelőek, ezek a csapágyak a leggyakrabban alkalmazott gördülőcsapágyak a géptervezésben. Tisztán axiális golyós- és görgőscsapágyakat a befeszülés megakadályozása érdekében nem használnak.

Nagyobb teljesítményeknél, pl. folyami vontató- és tolóhajóknál a toló-tengely igénybevételét csökkenteni lehet azzal, ha a toló-csapágy önbeálló szerkezetű. Ezeknél két *kúpörgős* vagy egyetlen *önbeálló hordógörgős* (szférikus) *csapágyat* építenek be a házba. A szokásos konstrukció vázlatát a következő ábra mutatja.



4.3.4.2.2.1 ábra Toló-csapágy konstrukció két kúpörgős csapággal

4.3.4.2.3 Tengelykapcsolók

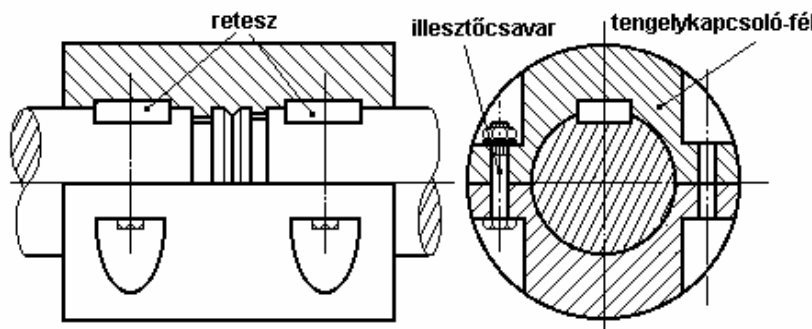
A tengelyrendszer *tengelykapcsolóinak* ugyanazt az igénybevételt kell elviselniük, mint a tengelyeknek. Ezért a hajócsavar és a toló-csapágy között merev tengelykapcsolókat kell alkalmazni.

Amennyiben a toló-csapágy és a főgép között további tengelykapcsolóra is szükség van, az lehet rugalmas konstrukciójú.

Merev tengelykapcsolók

A merev tengelykapcsolókat nagyobb tengelyátmérőknél ki lehet alakítani magukból a tengelyekből. Ezzel súlymegtakarítást lehet elérni, mivel a szokványos konstrukció nagyobb átmérőnél túlzott méreteket kíván. Általában azonban a hajóépítők ragaszkodnak a megszokott kivitelhez: kúpos tengelyvég, öntött acél tárcsák, illesztő-hüvely vagy illesztő-csavarok.

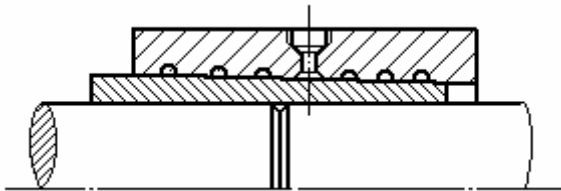
A nagyobb átmérőjű tengelyeknél alkalmazzák a héjas tengelykapcsolókat is. Ennek kialakítása is lehetővé teszi a tolóerő átadását.



4.3.4.2.3.1 ábra
Héjas
tengelykapcsoló
nagyobb átmérőkhöz

A héjas
tengelykapcsoló
különleges
megoldását mutatja a
4.3.4.2.3.1 ábra.

Ennek a konstrukciónak az alapja az SKF cég kúpos furatú csapágyainak szereléséhez kifejlesztett hidraulikus eljárás. A nagy-nyomású olaj egyrészt eltávolítja egymástól a felületeket, másrészt kenőanyagként szolgál a vékonyfalú hüvely becsúsztatásánál. Az olajnyomás megszűnésekor a kúpos felületek között fellépő súrlódás elegendő a nyomaték átviteléhez.



4.3.4.2.3.1 ábra Hidraulikusan szerelt héjas tengelykapcsoló

Oldható és rugalmas tengelykapcsolók

Rugalmas tengelykapcsolók

Két körülmény teheti szükségessé rugalmas tengelykapcsoló beépítését:

1. A tengelyrendszer *torziós-lengés számítása* alapján valószínű, hogy a gerjesztések és csillapítások az adott tömegekkel és rugalmas összekötő elemekkel (tengelyszakaszok) a tengelyekben és más gépelemekben túlzott többletfeszültséget ébresztenek egyes fordulatszámoknál. A lengés-állapot megváltoztatása – a lehetséges maximális csillapítás elérése mellett – leginkább egy vagy több rugalmas elem rugóállandójának módosításával érhető el. Ez azt jelenti, hogy a tengelyrendszernek azon a részén, ahol már csupán csavaró igénybevétel van, azaz a főgép és a toló-csapágy illetve hajtómű (amely a toló-csapágyat is tartalmazza) között, el kell helyezni egy lágy jellemzőkkel bíró rugalmas tengelykapcsolót.
2. A hajtótest deformációi az eltérő terhelési állapotokban a tengelyrendszer töréséhez vezetnének megfelelő rugalmas elem beépítése nélkül.

A rugalmas tengelykapcsolók különböző típusai jól ismertek, ezek mindegyike használható hajók tengelyrendszereiben. A kisebb teljesítményű és nagy-fordulatszámú dízelmotorok esetében az *Uniflex* márkanévű szerkezetek a legelterjedtebbek, ezeknél a rugalmas elem egy gumiabroncsra emlékeztető gumitömlő két tárcsa között.

Oldható tengelykapcsolók

Az átvitt teljesítménytől és nyomatéktól függően választható ki az a kapcsolótípus, amely a követelményeknek legjobban megfelel. Kisebb motorhajóknál a tárcsás súrlódó tengelykapcsolók nagy választéka áll rendelkezésre. A nagyobb nyomatékok átvitelénél az oldható tengelykapcsolók hidrodinamikus vagy elektromágneses rendszerűek. A hidrodinamikus tengelykapcsolók legnagyobb alkalmazási területe az autóipar, ahol ez a gépelem az automata sebességváltóknál használatos. Hajók tengelyrendszerében ott a leggyakoribb, ahol több erőgéppel hajtanak meg egy hajócsavart. Erőátviteli közegként vizet alkalmaznak. A hidrodinamikus tengelykapcsoló abban az esetben is jó szolgálatot tesz, ha torziós lengések okoznak gondot. A tengelykapcsoló két független rendszerre bontja szét a lengőrendszert, amelyek nem adják át egymásnak a gerjesztést. A hidrodinamikus tengelykapcsoló szétkapcsolása a folyadék kiengedésével hajtható végre. Olyan esetben, amikor több gép hajt meg egy közös csavartengelyt, és nem szükséges mindkét gép teljesítménye, az egyik kapcsolót kiürítik, és csak az egyik gép jár.

4.3.4.2.4 Fordulatszám-csökkentő hajtóművek

A propulziós főgépek az esetek többségében sokkal nagyobb fordulatszámon üzemelnek, mint amilyen fordulatszámon a hajócsavar az adott hajótest mögött, a hajó feladatainak megfelelő körülmények között, a legjobb hatásfokkal tud dolgozni. A *fordulatszám-csökkentő hajtóművek* feladata a főgép nagyobb és a hajócsavar kisebb fordulatszámát kiegyenlíteni. A bemenő teljesítményt a behajtó-tengelyen a főgép nagyobb fordulatszámon kisebb nyomatékkal táplálja be a hajtóműbe, amely a hatásfoknak megfelelően valamivel kisebb (2-5% veszteséggel csökkentett) kimenő teljesítményt kisebb fordulatszámon és nagyobb nyomatékon adja át a hajócsavartengelyrendszernek.

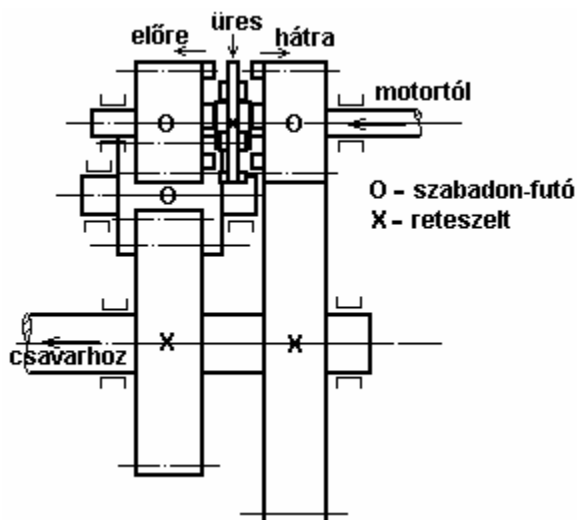
A fordulatszám-csökkentő hajtóművek csoportosítása:

- a hajtómű a legtöbb esetben magában foglalja a toló-csapágyat, de vannak kivételek. A külön toló-csapágy alkalmazása megnöveli a tengelyrendszer hosszát, de a külön egységek egyszerűbb karbantartást és javítást tesznek lehetővé.
- A fordulatszám-csökkentő hajtóművek lehetnek egyszerű reduktorok, vagyis csak a fordulatszámot illetve nyomatékat változtatják meg a módosításnak megfelelő mértékben, illetve lehetnek irányváltó-hajtóművek, amelyek szükségtelenné teszik a hajtómotor irányváltását, mivel azt a hajtómű végzi el. Minél nagyobb a főgép fordulatszáma, annál inkább a hajtóművet kell erre a funkcióra igénybe venni, mert a gyors motorok nem képesek rá.

A hajtómű és a főgép között rugalmas tengelykapcsoló beiktatására van szükség.

Irányváltó-típusok

Az *irányváltó-hajtóművek* túlnyomó többsége homlokkerekes fogaskerék-hajtómű. A legegyszerűbb megoldás vázlatát mutatja a 4.3.4.2.4.1 ábra.

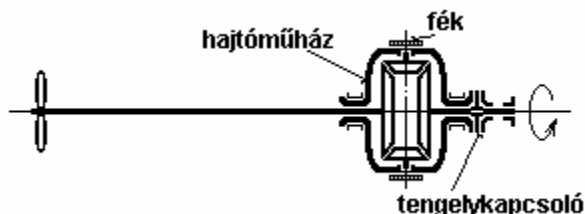


4.3.4.2.4.1 ábra Homlokkerekes irányváltó-mű szerkezeti vázlata

Ez a konstrukció csak álló motornál teszi lehetővé az irányváltást, mivel a két kiskerék közel azonos fordulatszámmal egymással szemben forog. A motor a bemenő tengelyt hajtja meg, amelyre a körmös tengelykapcsoló-tárca siklóretesszel van felszerelve. A főgép és a csavar szétkapcsolásához (pl. a gép üresjárati indikálásához) a tárcsa üresbe kapcsolható. Előremenetnél a hajtás a baloldali, hátramenetnél a jobboldali

kiskeréken át történik.

A kúpkerekes irányváltó-művek kisebb teljesítmény esetén előnyösek. Módosításuk 3 és 5 között lehet, szerkezetük a gépjárművek differenciálművére emlékeztet. Egy megoldást mutat a következő ábra.



4.3.4.2.4.2 ábra Kúpkerekes irányváltó-mű vázlata

Az ábra szerinti konstrukciónál a motor a bemenő tengelyt hajtja meg. A tengelykapcsoló kioldott állapotánál a hajtás a kúpkerekeken megy át, a

hajtóműház, amely csapágyazva van, ilyenkor a fékkel rögzített helyzetben van. A hajócsavar a motorral azonos fordulatszámmal forog, de azzal ellenkező irányban. Hátramenethez az szükséges, hogy a tengelykapcsoló bekapcsolt állapotba kerüljön, ilyenkor azonban a féket oldani kell, hogy a ház forgásba jöhessen. A kúpkerekek a házhoz és egymáshoz képest állnak, a ház és a csavar a motorral azonos fordulatszámmal forgást végez. A tengelykapcsoló menet közben kapcsolható, mindössze a motor fordulatszámát kell alapjáratira lecsökkenteni a hirtelen dinamikus hatások elkerülése érdekében.

4.3.4.3 A tengelyek szilárdsági méretezésének alapelvei

A tengelyek igénybevitelének funkciójukból eredően két fő forrása van.

1. Fő igénybevitel, amelyek a tervezés során figyelembe vehetőek, mivel a következő terhelésekre vezethetőek vissza.
 - (a) Csavaró-nyomaték a hajócsavar meghajtásához. Minél nagyobb hajóról beszélünk, annál nagyobb hajócsavar van felszerelve, amelynek fordulatszáma

- az optimális üzem érdekében alacsony, tehát annál nagyobb nyomatékra van igénybe véve a tengely.
- (b) Tolóerő, amelyet a hajócsavar hoz létre, ez előre menetnél nyomófeszültséget, hátramenetnél húzófeszültséget ébreszt.
 - (c) A tengely önsúlya. Ez a csapágyak fajtájától és kiosztásától függ, a tengelyt hajlító-nyomatékkal terheli.
 - (d) A hajócsavar súlya. Ez a terhelés közvetlenül a hajócsavar tengelyt veszi igénybe, de a többtámaszú tartók szilárdságtana szerint végső soron a teljes tengelyrendszerre hatással van.
 - (e) A tengelyrendszert alkotó tömegek és rugók, valamint a gerjesztést ébresztő egységek (motor és hajócsavar) hatásának figyelembe vételével elvégezhető a rendszer torziós-lengés számítása, és a sajátlengések felharmonikusai által kijelölt fordulatszám-tartományokban ennek hatása jelentős lehet. Akkor jelent nagyobb gondot, ha valamelyik felharmonikus az üzemi fordulatszám közelében van. Nagyon ritka az olyan helyzet, hogy konstrukciós változtatással sem lehet a lengéseket elhangolni, de olyankor igénybevételeként figyelembe kell venni a lengés okozta terhelést.
2. Járulékos igénybevételek, amelyek a tervezés során vagy nem vehetőek figyelembe vagy csak korlátozott mértékben lehet ezeket megközelíteni, mivel sok bizonytalanságot hordoznak. Ilyenek lehetnek:
- a) a tengelyrendszer szerelésénél elkövetett hibák vagy a hajó igénybevételenek módja miatt keletkező eltérések az egyenes tengelyvonaltól,
 - b) a hajócsavarnak a hullámos vízen való hajózás közben előforduló felpörgése,
 - c) a hajózóútban levő tárgyakkal (jég, uszadék-fa) történő mechanikus ütközések,
 - d) irányváltáskor létrejövő többletnyomaték (ez akár 50% többlet is lehet),
 - e) a csavartengelyek korróziója miatt azok szilárdsága csökken.

A tengelyek méretezése valamennyi tényezőt figyelembe veszi az említettek közül, de a tengelyrendszer alapvető igénybevétele a csavaró-nyomaték, a méretezés tulajdonképpen erre történik.

A tengelyek szilárdsági méretezése nemzeti osztályozó intézetek és nemzetközi intézetek előírásai alapján

A *tengelyrendszer méretezése* minden nemzeti osztályozó intézet és nemzetközi hajóbiztonsági intézet előírásaiban fontos helyet foglal el. Az esetek többségében a hajó tervezését megrendelő intézmény azt is kiköti, melyik osztályozó intézet melyik osztályának kell megfelelnie az úszóműnek. Az osztályozó intézetek előírásainak ismertetése az 5.2 fejezetben található.

A következőkben a Magyarországon szovjet exportra több évtizedig nagy sorozatokban gyártott kerek és hajócsavaros folyami személyhajók, gőzös és dízelmotoros vontatóhajók és dunai illetve szibériai tolóhajók, valamint tengeri úszódaruk tervezésénél kötelezően előírt osztályozó intézetek tengelyméretezési előírásait ismertetjük.

BBBZ-kódex

Szovjet folyami regiszter

Ennek intézetnek a jelenlegi utódja az orosz folyami regiszter, amely egyelőre azonban kizárólag belföldön van érvényben. A legtöbb előírás változatlanul érvényes az előd intézet elvei szerint.

A közbenső tengely átmérőjének minimális mérete közvetlen meghajtás esetén:

$$d_k = 0,093 \cdot k \cdot k_1 \cdot \sqrt[3]{D^2 \cdot S \cdot p_i \cdot c} \quad [\text{mm}]$$

D - főgép hengerátmérője [mm]

S - főgép dugattyúlöketete [mm]

p_i - főgép indikált középnyomása [bar]

c - a rendszer önlengésszáma [1/sec]

k, k_1 - az alábbi formulákkal számítható tényezők

$$k = \sqrt[3]{\frac{42}{42 + \frac{2}{3} \cdot (\sigma_B - 42)}}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{1 - 0,5 \cdot \frac{a - 1}{a + 1} \cdot \frac{(GD^2)_l}{(GD^2)_l + 1,5 \cdot (GD^2)_{cs}}}$$

A formulákból kitűnik, hogy a k tényező a tengely anyagára jellemző, ha $\sigma_B = 42$ dN/mm², $k = 1$.

A k_1 tényező értéke a torziós lengési viszonyokat meghatározó tömegektől és önlengésszámtól függ. A képletben szereplő mennyiségek:

$(GD^2)_l$ - a lendkerék súlyából és átmérőjéből számított érték

$(GD^2)_{cs}$ - a hajócsavar súlyából és átmérőjéből számított érték

Ugyanaz a közbenső tengely átmérő fordulatszám-csökkentő hajtómű beépítésekor:

$$d_k' = d_k \cdot \sqrt[3]{i \cdot \eta_{red}}$$

A hajócsavar-tengely átmérőjének minimális mérete jégmentes vízben járó hajónál:

$$d_p = d_k + k_2 \cdot D \quad [\text{mm}]$$

$k_2 = 0,007$ védőcsőben futó tengelynél

0,010 védőcső nélkül közvetlenül a vízben futó tengelynél

Ugyanez a méret jeges vízben is közlekedő hajó esetén:

$$d_{pjég} = 1,05 \cdot d_p$$

A tolótengely átmérőjének minimális mérete:

$$d_t = 1,05 \cdot d_k$$

Szovjet tengeri regiszter

Jelenlegi neve orosz tengeri regiszter, és a nemzetközi szövetségekben jelen van. A közbenső tengely átmérőjének minimális mérete állandó nyomatékú propulziós főgép esetében (gőzturbina, elektromos erőátvitel, hidrodinamikus tengelykapcsoló alkalmazása):

$$d_k = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{N \cdot B}{n}} \text{ [mm]}$$

N és n – a főgép teljesítménye LE-ben és fordulatszáma 1/min-ben
 B – a hajó üzemi környezetétől függő tényező,
 B = 0,95 kikötői hajónál
 1,05 nyílt-tengeri hajónál

A dízelmotorral meghajtott tengely átmérőjéhez képest akár 30% különbség is lehet lefelé.

A szovjet regiszter által figyelembe vett anyagok a tengelyekhez

Általában a tengelyeket kovácsolt munkadarabokból forgácsolják kész méretre, ahol az anyag kristályszerkezete homogén, illetve hosszirányban nagyobb szilárdságú. Kisebb átmérők esetében (100 mm alatt) a húzott acél a legmegfelelőbb anyag. Bonyolultabb alakú tengelyeknél alkalmazható az acélöntvény, de a biztonsági tényezőnek megfelelő értékűnek kell lennie.

Szokásos anyagminőségek:

A 42.11 magyar gépacél (CT4 szovjet minőség)

A 50.11 (CT5),

mindkettőnél megfelelő a képlékenység, ridegség nem áll elő.

Olyan esetekben, amikor nagyobb szakítószilárdság kell, szükséges az anyag ötvözése a szívósságot növelő összetevőkkel.

A legnagyobb igénybevételű helyeken, ahol a szilárdság növelése és a súly csökkentése a cél (hadihajók), csőkeresztmetszetű tengelyek alkalmazása a legjobb megoldás.

4.3.4.4 A tengelyrendszer alkotóelemeinek befolyása a hatásfokra

A *tengelyrendszer hatásfoka* annál jobb, minél kevesebb alkatrészből áll, és minél rövidebb. Minél hosszabb és bonyolultabb rendszerrel állunk szemben, annál nagyobb veszteséget kell figyelembe venni a meghajtó propulziós főgép és a propulziós eszköz, vagyis a hajócsavar között (a hajócsavarra átadott teljesítmény és a hajó ellenállása illetve haladási sebessége által meghatározott hasznos teljesítmény között a hajócsavar számításánál elmondottak érvényesek). Ez lényegében azt jelenti, hogy a tengelyrendszer hatásfoka és az ideális 100%-os hatásfok különbségével növelni kell a

BBBZ-kódex

főgép teljesítményét, hogy a hajó üzemi sebessége vagy vontatók és tolóhajók esetében a más úszótestek továbbítására fordítható szabad tolóerő biztosítható legyen.

A következő felsorolásban a szokásos teljesítmény- és fordulatszám-viszonyoknál figyelembe vehető veszteségeket tüntetjük fel a tengelyrendszer különböző elemeinél:

| | |
|--|------|
| irányváltó hajtómű | 1% |
| fordulatszám-csökkentő hajtómű | 3% |
| elektromágneses tengelykapcsoló | 3% |
| hidrodinamikus tengelykapcsoló | 3% |
| tömítő-szelence (darabonként) | 1% |
| tönkcső- és bakcsapágy víznél (egyenként) | 1% |
| tönkcső- és bakcsapágy olajnál (egyenként) | 0,3% |
| toló-csapágy, Mitchell sikló | 0,1% |
| toló-csapágy, gördülő | 1% |
| tartócsapágy, gördülő | 0,1% |
| tartócsapágy, sikló | 0,3% |

A felsorolás szerinti szám adatok jó közelítéssel alkalmazhatóak a tervezés során.