

## **OD VESLA DO QUEEN MARY II**

### **Sažetak**

Svake se godine gradi sve više brodova opremljenih jednim jedinstvenim sustavom koji zamjenjuje dva ranije uobičajena – propulzor i kormilarski uređaj. U članku je dan pregled povijesnog razvoja takvih uređaja - SPU, kako pomoćnih tako i glavnih. Opisani su različiti tipovi, njihove vrline i mane i područje primjene. Posebna je pozornost posvećena predlaganju prikladnog nazivlja na hrvatskom jeziku. Na temelju dosadašnjeg razvoja pokušat će se predvidjeti buduću rasprostranjenost primjene ovoga novog hidrodinamičkog elementa broda.

*Ključne riječi: propulzor, kormilo, propulzor\_kormilo, stručno nazivlje.*

## **FROM THE ROW TO THE QUEEN MARY II**

### **Summary**

Every year more and more ships are built and equipped with unique system that replaces two common ones in the past – steering and propulsion unit. In this article the historic review of development of such units - SPU is given, as for auxiliary as for the main ones. Various types, their advantages and disadvantages in practice are described. Special attention is given to the suggestion of appropriate Croatian terminology. Based on recent development, the future distribution of this new hydrodynamic ship element will be predicted.

*Key words: propeller, rudder, rudderpropeller, terminology*

## 1. UVOD

Pisanje ovoga članka potaknula je sve češća primjena brojnih raznovrsnih suvremenih uređaja/naprava koji se u brodove ugrađuju radi obavljanja dviju zadaća: stvaranja poriva i kormilarenja. Uređaj je *steering-propulsion unit* SPU. Namjerno nije primijenjen nazivak «upravljanje», jer je to širi pojam, koji osim upravljanja smjerom gibanja obuhvaća i upravljanjem brzinom i/ili ubrzanjem broda.

### STEERING PROPULSION SYSTEM .....SPS

Pogonsko-upravljački sustav

- PROPULSOR&RUDDER COMBINATION .....**PRC**  
Sklop propulzor-kormilo
- STEERING-PROPULSION UNIT .....**SPU**  
Pogonsko-upravljačka jedinica
  - ⇒ AZIMUTHING (Fool steerable) SPU .....**ASPU**  
Usmjeriva (potpuno usmjeriva) SPU (pogonsko-upravljačka jedinica)
    - VERTICAL AXIS PROPULSOR .....**VAP**  
Propulzor s uspravnom (vertikalnom) osovinom
      - ◇ Voith Schneider Propeller .....**VSP**  
Voith-Schneiderov propulzor
      - ◇ Kirsten Boeing Propeller .....**KBP**  
Kirsten-Boeingov propulzor
    - AZIMUTHING (STEERABLE) THRUSTER .....**AT**  
Usmjerivi porivnik
      - ◇ Electrically Driven AT .....**ATE**  
Usmjerivi porivnik s električnim motorom.
      - ◇ Diesel Engine Driven AT  
.....**AT**
  - D**  
Usmjerivi porivnik s dizelskim motorom
    - ◇ Petrol Engine Driven AT (Outboard Motor) .....**ATP**  
Usmjerivi porivnik s benzinskim motorom (Izvanbrodski motor)
  - POD (PODDED) PROPULSOR (STEERABLE) .....**POD**  
Gondolski propulzor (usmjerivi)
    - ◇ Single screw POD  
.....**SSP**
  - OD**  
Gondolski propulzor s jednim vijkom
    - ◇ Tandem (twin) screw POD  
.....**TSPOD**  
Gondolski propulzor s tandem vijcima
  - PUMP-JET PROPULSOR .....**PJP**  
Propulzijska crpka
- ⇒ NONAZIMUTHING SPU .....**NSPU**  
Nepotpuno usmjeriva SPU (pogonsko-upravljačka jedinica)
  - WATERJET PROPULSOR .....**WJP**  
Vodmlazni propulzor
  - SURFACE PIERCING PROPULSOR .....**SPP**  
Djelomično uronjeni (propulzor)

- STEERABLE DUCTED PROPELLER .....SDP  
Vijak u usmjerivoj sapnici
- HYBRID STEERING PROPULSION SYSTEM .....HSPS  
Hibridni pogonsko-upravljački sustav
  - ◆ FPP & POD
  - ◆ CPP & POD
  - ◆ FPOD & POD

**Slika 1** Hijerarhijski prikaz raznih tipova upravljačko – propulzorskih sustava  
**Fig. 1** Hierarchical view of various types of Steering–Propulsion Systems

Možda nismo navikli razmišljati o tome da sâmo pogonjenje broda, bez određenog smjera njegova gibanja, nema smisla. Pa ipak je uobičajeno, unutar brodske hidromehanike - mislim da se slobodno može reći najodličnijeg, najkorisnijeg i najposebnijeg (najspecifičnijeg) teorijskog alata brodograditelja - odvojeno promatrati zadaće pogonjenja i kormilarenja. Skup svih sredstava za upravljanje na brodu zove se *steering-propulsion system* (SPS), slika 1.

Vjerojatno se je mnogi od stručnjaka susreo s neopisivom zbrkom pojmova što vlada u engleskom stručnom nazivlju u području propulzije. Usmjerivi porivnik AT, kod nas u žargonu poznat kao «šotel», na engleskom se naziva: *azimuthig thruster, steerable thruster, fully steerable thruster, azimuthing propeller, azimuthing propulsor, swivelling thruster, rotatable thruster,...* Stoga uopće nije bilo jednostavno sastaviti prijedlog engleske terminologije ovoga posebnog područja.

Sigurno je da je u početku plovljenja isto sredstvo ispunjavalo obje spomenute zadaće. Dok su naši davni preci, sjedeći na oborenu stablu imali u rukama neku granu i trudili se, veslajući, ploviti prema cilju, primjenjivali su ono što se danas na engleskom zove *steering-propulsion unit*. Čini se da su Rusi prvi, već 1985. g. skovali nazivak *движительно-рулевое устройство* [VOJTKUNSKIJ, 1985].

No, prevarili bismo se kad bismo pomislili da je to nešto potpuno novo<sup>1</sup>, jer je i veslo jedan od SPU-a. Veslo, koje su ljudi napravili «usavršavajući» granu, služilo je i za kormilarenje. Na starim grčkim, rimskim, vikinškim brodovima kormilarilo se veslom - ponekad zavezanim konopom. Stoga ne iznenađuje da u njemačkom jeziku riječ *das Ruder*, znači i *veslo* i *kormilo*, dok se u jednom engleskom rječniku pod natuknicom veslo nailazi na sljedeće objašnjenje: *oar (ôr, "r) n. Nautical. 1. A long, thin, usually wooden pole with a blade at one end, used to row or steer a boat. A moglo bi se dodati i row and steer.*

Takav primjer primjene vesala susreće se i danas na trkaćim čamcima bez kormilara, barkama na dva vesla, riječnim čamcima, eskimskim kajacima, venecijanskim gondolama, indijanskim kanuima – da spomenemo samo nekoliko primjera

Vjerojatno je nagli, gotovo burni, razvoj SPU razlogom što pripadna terminologija nije sasvim, ili točnije rečeno, gotovo uopće nije normirana. Zato je, osim usustavljenja, i pokušaj normiranja nazivlja jedna od zadaća ovoga rada.

<sup>1</sup> Čovjek i veliki broj životinja pri plivanju rabe iste udove i za gibanje i za upravljanje.

## 2. STEERING-PROPULSION SYSTEM – SPS

Slika 1 pokazuje da se propulzorsko-upravljačke sustave broda svrstava u tri podskupa<sup>2</sup>:

1. Propulsor&Rudder Combination (kombinacija propulzora i kormila)
2. Steering-Propulsion Unit
3. Hybrid SPS

Ove tri vrste propulzorsko-upravljačkih sustava broda detaljnije su opisane u sljedećim poglavljima.

### 2.1. PROPULSOR & RUDDER COMBINATION – PRC

Ovaj SPS je kombinacija: a) nekoga propulzora, koji, po želji, stvara različito velik poriv prema naprijed ili natrag, pa tako omogućuje plovidbu raznim brzinama, te ubrzavanje i kočenje broda, i b) odgovarajućeg kormila, koje poprečnom silom djeluje na brod, i tako mu mijenja smjer plovidbe. To je klasično rješenje za velike trgovačke brodove. Propulzor je neki od raznovrsnih tipova vijaka, brodsko kolo, ili nepomični POD<sup>3</sup> propulzor. Kormilo je neko od brojnih vrsta pasivnih i aktivnih kormila.

Ova je kombinacija u dugotrajnoj praksi dobro provjereni sustav koji sigurno funkcionira i u praktičnoj primjeni ne bi se trebalo očekivati neke poteškoće, osim mogućih glede kavitacije i vibracija. Neposredna blizina propulzora i kormila (iznimka su brodovi gonjeni brodskim kolima – lađe «kolarice») uzrokom je njihova međudjelovanja – interakcije. Propulzor profitira jer kormilo smješteno u njegovu mlazu smanjuje gubitak kinetičke energije rotacije. Kormilo, pak, u mlazu vijka, zbog povećane brzine dostrujavanja, razvija veću poprečnu silu. Ali, kavitirajući vrtlozi glavine, a u manjoj mjeri i kavitirajući vršni vrtlozi, mogu izazvati kavitacijsku eroziju kormila (na brzim brodovima i ozbiljno). Približavanje kormila vijku povoljno djeluje na smanjenje rotacije mlaza, pa tako i na povećanje stupnja korisnosti propulzije, ali, ako su oni preblizu, mogu zajednički izazvati nepodnošljivu vibracijsku uzbudu trupa.

### 2.2. STEERING PROPULSION UNIT – SPU

*Steering-propulsion* unit je cjeloviti uređaj koji izvršava i zadaće pogonjenja broda i zadaće upravljanja brodom. Takvi uređaji se već dugo primjenjuju na manjim i posebnim brodovima, no sada se njihova primjena širi prema brodovima sve većih tonaža; postoji mnogo podvrsta o kojima će se kasnije opširnije govoriti.

SPU može pripadati jednoj od dvije podskupine: *azimuthing* SPU i *nonazimuthing* SPU. *Azimuthing* SPU ostvaruje silu poriva u bilo kojem smjeru (ali ne jednaku u svim smjerovima), tj. u području kutova od 0<sup>0</sup> do 360<sup>0</sup>. *Nonazimuthing* SPU ostvaruje (pri plovidbi pramcem) silu poriva samo u ograničenom području kutova unutar dva krmena kvadranta.

---

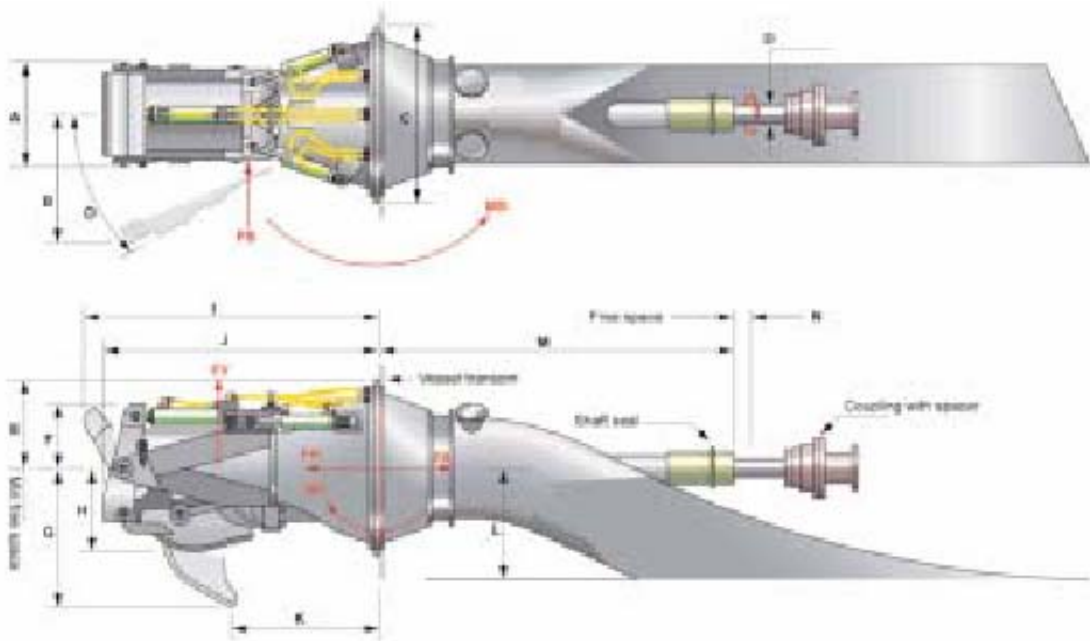
<sup>2</sup> To je prijedlog ovoga autora.

<sup>3</sup> POD je propulzor pogonjen elektromotorom smještenim u vitkom, strujno oblikovanom, kućištu zvanom gondola.

### 2.2.1. Nonazimuthing SPU – NSPU

Ovoj podskupini pripadaju: vodmlazni propulzori, djelomično uronjeni vijci - DUV i složeni propulzori «vijak & okretljiva sapnica».

**Waterjet propulsor.** Vodmlazne, kraće mlazne, propulzore različitih tipova primjenjuju u plitkim akvatorijima, posebno nereguliranim rijekama i kod desantnih brodova zbog njihove dobre zaštićenosti u trupu broda. No, daleko više takvih propulzora ugrađeno je na brze i vrlo brze brodove, na kojima dolaze do izražaja sljedeće njihove prednosti: jednostavan prijelaz grbe otpora, velika neosjetljivost na kavitaciju, niska razina šuma i vibracijske uzbude, dok su mu mane velika težina i gubljenje istisnine na krmi, slika 2.



Slika 2 Kamewa vodmlazni propulzor s aksijalnom crpkom

Fig. 2 Kamewa

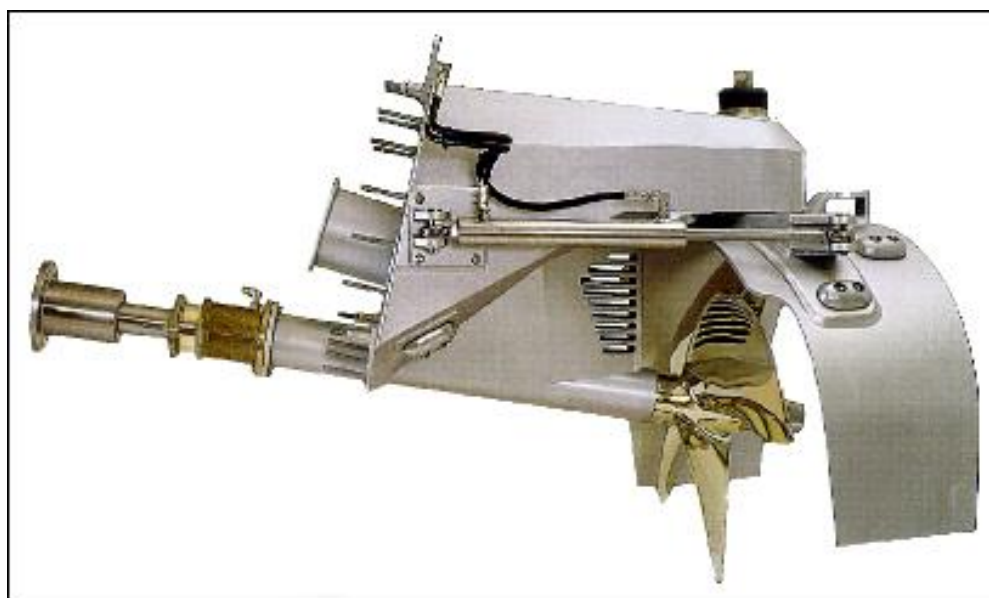
**Surface piercing (semisubmerged) propeller SPP.** Djelomično uronjeni vijci raznovrsnih izvedbi ugrađuju se na vrlo brza plovila jer se dobro prilagođuju promjeni gaza pri glisiranju, postižu visoke stupnjeve korisnosti (nema gubitaka koji su posljedica otpora vijčane osovine, skrokova i glavine vijka), ne ugrožava ih kavitacija, jednostavno prelaze grbu otpora i pogodni su za plitke vode.

Na dva se načina omogućuje rad pogonskog stroja bez preopterećenja pri plovidbi malim brzinama, kod kojih se zrcalo još nije očistilo. Prvi je primjena hidrauličkog mehanizma koji omogućuje vertikalno pomicanje vijka, slika 3.



**Slika 3** Arneson prigon s djelomično uronjenim vijkom na kraju horizontalno i vertikalno pomične osovine. Crnim gumenim posuvratkom (manšetom) zaštićen je kardanski zglob.

**Fig. 3** Arneson drive with partially submerged propeller on the end of the shaft movable in horizontal and vertical direction. The black cuff protects Cardan joint.



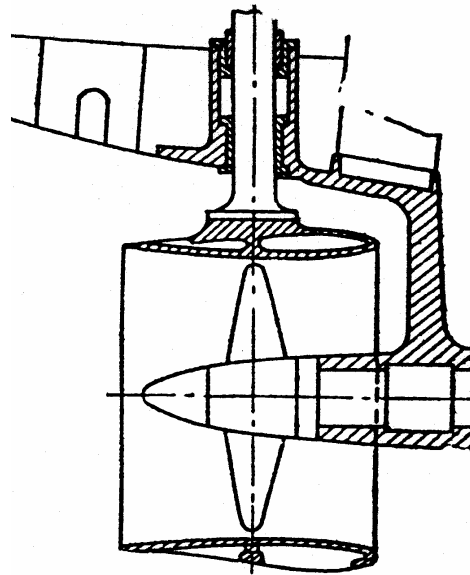
**Slika 4** Sea Rider djelomično uronjeni vijak sa zaštitnim limom, kojim se ujedno i kormilari.

**Fig. 4** Sea Rider SPP drive with U shaped shield, acting also as rudder.

Drugi način smanjenja opterećenja pogonskog stroja jest primjena zaštitnog lima u obliku obrnutog slova U kojim je okružen vijak i u kojega se dovode ispušni plinovi kako bi se izazvala umjetna kavitacija i tako smanjila apsorpcija snage, slika 4. Nedostatak

svih inačica SPP je njihovo daleko protezanje iza krmenog zrcala i oblak vodene prašine koju propulzori be U lima podižu pri nekim režimima rada.

**Steerable ducted propeller SDP** - screw propeller in steerable duct (nozzle). Vijak u okretljivoj sapnici primjenjuje se na brodovima na kojima su vijci jako opterećeni, osobito na morskim tegljačima koji imaju dovoljno velik gaz, na ribarskim brodovima, minolovcima, ledolomcima. Osim što se povećanjem brzine strujanja vode kroz vijak smanjuje opterećenje vijka i tako doprinosi ostvarenju većeg stupnja korisnosti – što i jest glavna zadaća sapnice – ona djeluje povoljno na homogenizaciju polja dostrujavanja, poboljšava stabilnost broda na kursu (ali mu istodobno smanjuje okretljivost) i zaštićuje vijak, Slika 5.



**Slika 5** Vijak u okretljivoj sapnici  
**Fig. 5** Steerable ducted propeller

**Izvanbrodski motor s dugom statvenom cijevi** Ovakve je SPU primjenjivao *Wehrmacht* tijekom II. svjetskog rata na jurišnim čamcima pontonirskih jedinica; autor ne zna da li se i danas – osim kod samogradnji – rabe takvi uređaji.

#### 2.2.2. Azimuthing SPU – ASPU

*Azimuthing* SPU obuhvaćaju četiri podskupine.

To su vertical axis propulsor, azimuthing ili steerable thruster, podded propulsor - POD, i pump-jet propulsor.

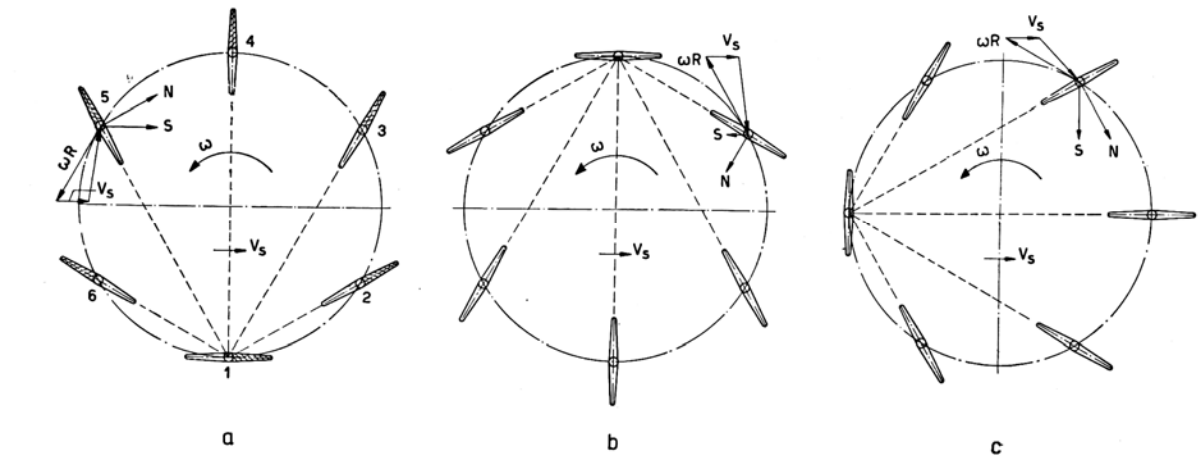
**Vertical axis propulsor** Ovi propulzori, za razliku od svih ostalih, imaju vertikalnu osovinu<sup>4</sup>. Na ploči učvršćenoj na donjem kraju spomenute osovine, uležištena su vertikalno postavljena krila, odnosno lopatice, (zbog toga se VSP naziva i krilasti propulzor) koja posebni mehanizam oscilatorno rotira oko njihove osi. Rezultantno

---

<sup>4</sup> Strogo govoreći osovina ovih propulzora je samo približno uspravna. Ona je okomita na površinu oplata na mjestu negove ugradnje.

gibanje krila/lopatice sastavljeno od translatornog gibanja broda i rotacije oko vertikalne osi vrši se po krivulji zvanj cikloida. Zato se taj tip naziva i cikloidni propulzor.

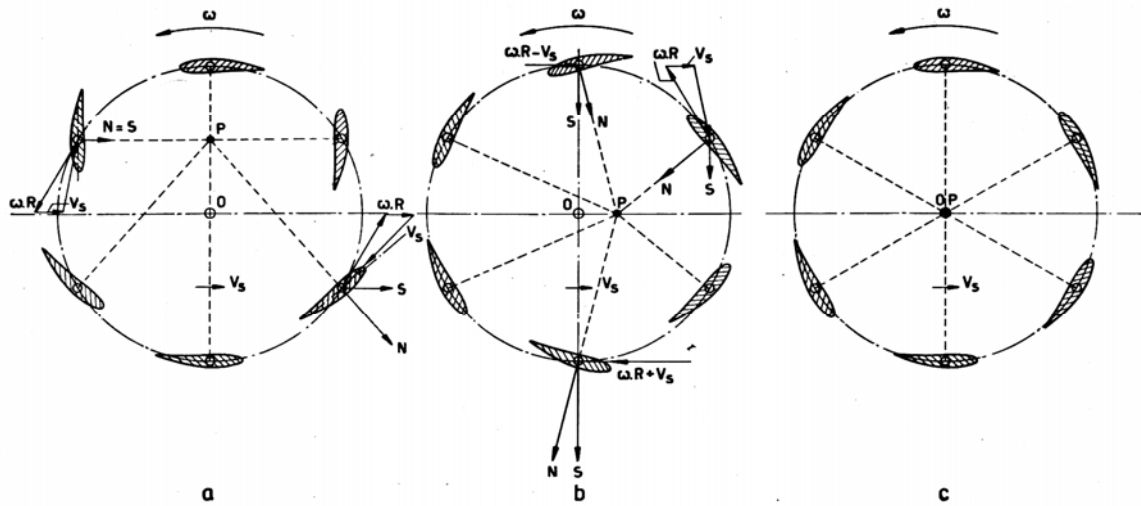
U ovoj se skupini propulzora nalaze Voith Schneider Propeller – VSP, i Kirsten-Boeing propulzor, slika 6. Pri gibanju krila/lopatice kroz vodu javljaju se kod VSP hidrodinamičke sile: uzgon i otpor, pri čemu je sila uzgona, koja je korisna sila, mnogo veća od sile otpora; zato se govori o *krilima* VSP-a. Kirsten-Boeing propulzor iskorištava otpor za stvaranje poriva, dakle K-B propulzor ima lopatice.



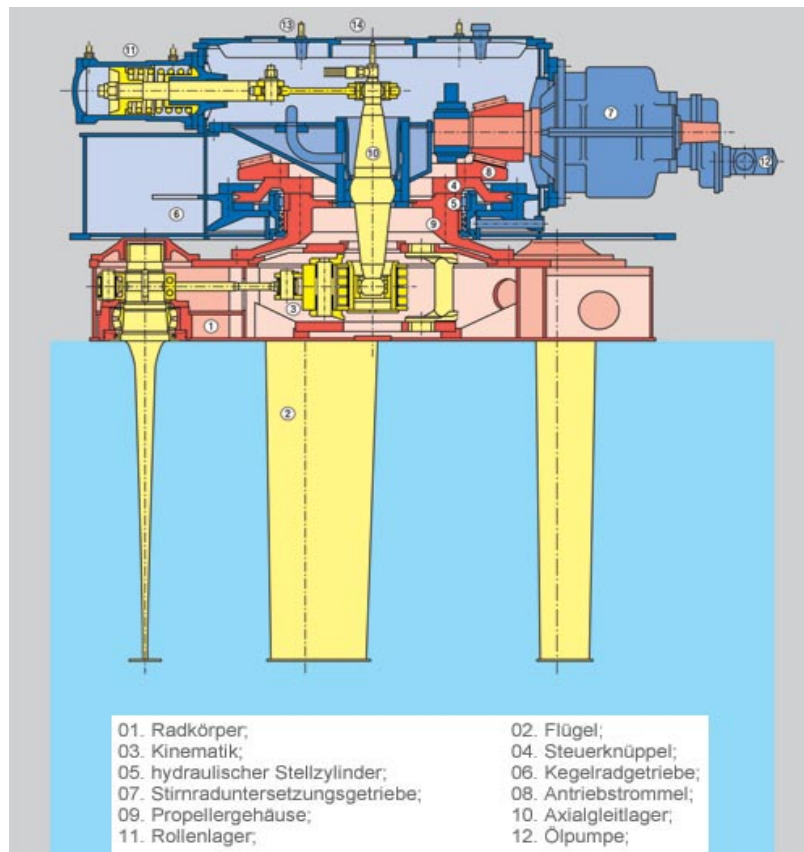
**Slika 6** Načelo djelovanja K-B propulzora  
**Fig 6** Principle of K-B propulsor functioning

U ovoj se skupini propulzora nalaze Voith Schneider Propeller – VSP, i Kirsten-Boeing propulzor, slika 6. Pri gibanju krila/lopatice kroz vodu javljaju se kod VSP hidrodinamičke sile: uzgon i otpor, pri čemu je sila uzgona, koja je korisna sila, mnogo veća od sile otpora; zato se govori o *krilima* VSP-a. Kirsten-Boeing propulzor iskorištava otpor za stvaranje poriva, dakle K-B propulzor ima *lopatice*.

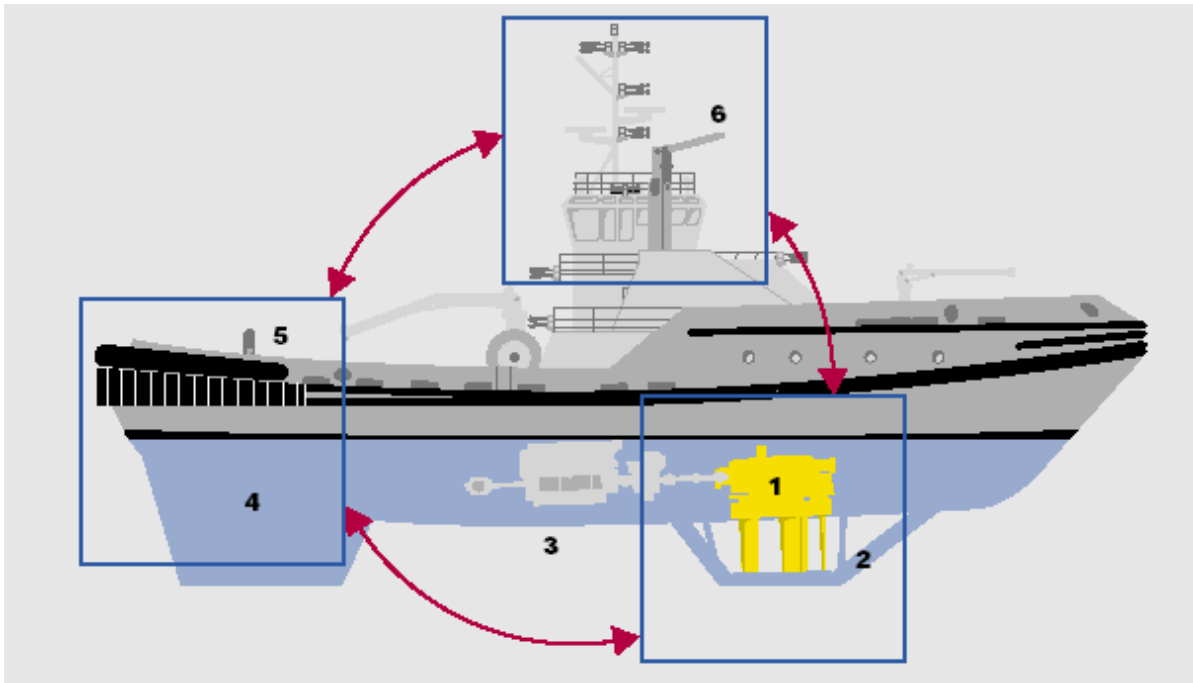
U sadašnje doba susreće se, i to u dosta velikoj mjeri, samo VSP, slike 7 i 8; primjenjuje se na tegljačima, trajektima, plovnim dizalicama, oceanografskim brodovima, platformama za bušenje i na brodovima za polaganje kabela. Posebno je vrijedno spomenuti ugradnju VSP na posebnom, vrlo primjenjivom tipu tegljača zvanom «vodni traktor», slika 9.



Slika 7 Voith-Schneiderov propulzor - VSP. a)bočna sila; b)sila u smjeru plovidbe; c)sila je nul vektor.  
 Fig. 7 Voith Schneider propeller - VSP. a)transverse force; b)force in sailing direction; c)null force



Slika 8 Voith Schneider propulzor s uspravnom osovinom  
 Fig. 8 VSP® Voith Schneider vertical axes propulsor



Slika 9 Tegljač tipa Vodeni traktor (njem. Wassertrecker)

Fig. 9 The tug boat of the Watertractor® type

**Azimuthing ili steerable ili rotateable thruster - AT**<sup>5</sup> To je propulzor, zovu ga i porivnik<sup>6</sup>, u kojem se snaga razvijena elektromotorom, dizelskim ili benzinskim motorom mehanički prenosi na vijak učvršćen na horizontalnoj osovini. Za tu su svrhu, osim osovina, potrebni i stožasti zupčanici. Vijci mogu biti porivni, vučni i tandem (blizanci). Kod porivnih se vijaka često susreću sapnice. Neki proizvođači stavljaju na takve propulzore i suprotnovrteće (kontrarotirajuće) vijke. Osim od Ottova (benzinskog) motora – taj se uvijek primjenjuje kod izvanbrodskih motora – AT dobiva pogon od elektromotora ili dizelskog motora. Ugrađeni elektromotori su uvijek vertikalne izvedbe, tako da je za prijenos snage potreban samo jedan par stožastih zupčanika – to je Z prigon. *Azimuthing thruster* se može ugraditi na brod na više načina: *Stern mounted* – ugradnja na zrcalu, *well mounted* – ugradnja u zdencu i *retractable* – podizni, uvlačivi. Snage su kod električnog pogona do oko 4MW, a kod dizelskog pogona do 6 MW. Vijci imaju 3 do 5 krila.

Slika 10 prikazuje AT gonjen elektromotorom ATE, opremljen tandem vijcima - *Schottel Combi Drive SCD*. Tandem vijci se vrte u istom smjeru pa se kod njih obično javlja veliki gubitak energije rotacije. Kod SCD su na kućištu postavljene peraje koje zakreću rotaciju mlaza prednjega vijka u suprotnom smjeru, tako da se poništi, ili barem smanji rotacija mlaza iza propulzora. Ovakav se AT ugrađuje u zdencu.

<sup>5</sup> Ovoj skupini propulzora pripada i »penta«.

<sup>6</sup> Nazivak *porivnik* počeo se primjenjivati na pomoćni upravljački uređaj – “aktivno kormilo” - koji služi samo za bolje kormilarenje pri manevriranju. Poblje se takav porivnik označava prema smjeru djelovanja sile kao *transverse thruster*, prema svome obliku kao *tunnel thruster*, a prema mjestu ugradnje kao *bow thruster* odnosno *stern thruster*. Kasnije se je počelo i pripadnike jednog podskupa Azimuthing SPU nazivati *thrusters*.

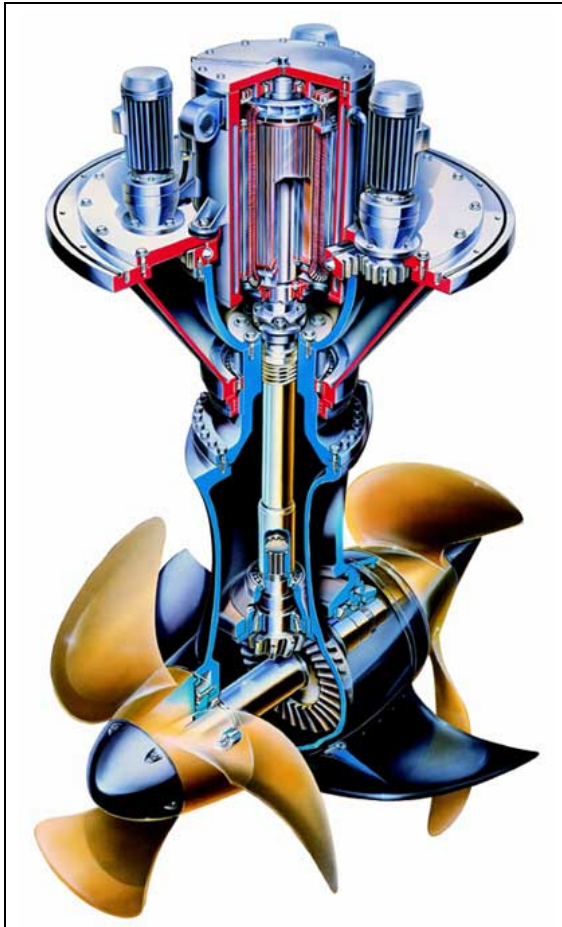
ATD, *Schottelov* model SRP – *Schottell Rudderpropeller* pogonjen dizelskim motorom, s dva para stožnika, s porivnim vijkom u sapnici, također za ugradnju u zdencu prikazuje slika 11.

**Podded propulsor** - POD po izgledu je sličan ATE propulzoru pogonjenom elektromotorom, ali s bitnom razlikom što je elektromotor ugrađen u podvodno, strujno dobro oblikovano tijelo, engleski nazvano «pod» (zato što je slično mahuni), tako da nisu potrebne uspravna i vodoravna osovina, niti stožnici, jer je vijak nasaden neposredno na osovinu elektromotora. *Pod* - u tehničkom nazivlju - na hrvatskom je gondola (npr. balona, zrakoplovnog motora), a *podded propulsor* gondolski propulzor.

Na takvo su rješenje konstruktore potakli teški problemi smanjivanja dimenzija prijenosnika sa stožnicima, posebno za velike snage. Naime, veliki promjer kućišta takvih prigona onemogućuje njegovo dobro strujno oblikovanje. Gondola POD propulzora je mnogo finijih linija, manjeg odnosa D/L, pa joj je otpor manji i polje sustrujanja jednolikije. Vijci stalnoga/fiksnoga uspona<sup>7</sup> imaju tri do pet krila i obično su jednostruki, ali susreću se i tandem vijci. Slični upravljivim (*steerable*) POD propulzorima su *neupravljivi gondolski propulzori*, *fixed pod propulsor* – FPOD, koji se ubrajaju među glavne propulzore, slika 1.

---

<sup>7</sup> Svi vijci POD propulzora imaju nepomična krila, budući da se kod električnog pogona može vrlo jednostavno upravljati brzinom njihove vrtnje.

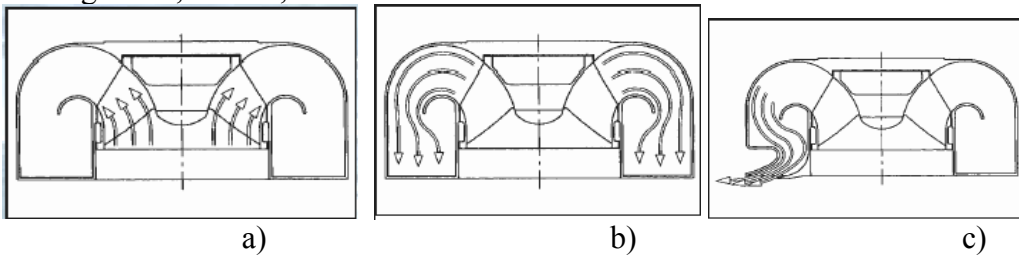


**Slika 10** Usmjerivi, elektromotorom gonjeni porivnik s tandem vijeima - SCD  
**Fig. 10** Azimuthing thruster, electrically driven with tandem propellers - SCD



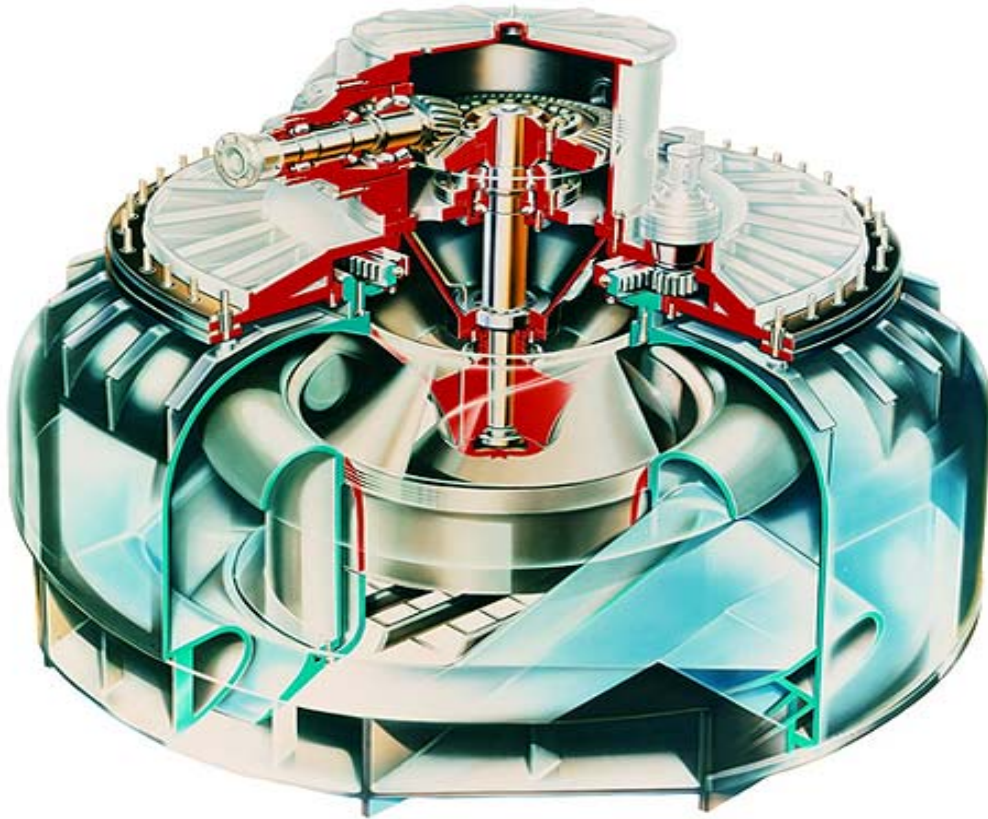
**Slika 11** Usmjerivi, dizelskim motorom gonjeni porivnik s porivnim vijkom u sapnici - SRP  
**Fig. 11** Azimuthing thruster, diesel driven with pushing propeller in the nozzle

**Pump-Jet propulsor** je proizvod poznate njemačke tvrtke *Schottel*. Bitno je različit od svih do sada spomenutih propulzora, a ukratko bi se mogao opisati kao centrifugalna crpka s vertikalnom osovinom, smještena na dnu broda. Voda se - kroz otvor na oplati - usisava neposredno u crpku, a izlaz iz spirale crpke, nagnut petnaest stupnjeva prema dnu broda, usmjeruje se tako se ostvari željeni smjer poriva, Slika 12 i Slika 13. Proizvodi se za snage od 0,05 do 3,5 MW.



**Slika 12** Schottelova propulzijska crpka SPJ. Voda se kroz otvor na dnu usisava i ulazi u rotor centrifugalne crpke a), struji prema spirali b), te izlazi c) pod kutem od 15° prema horizontalnoj ravnini u željenom smjeru ispod dna broda.

**Fig. 12** Schottel Pump-Jet Propulsor SPJ. Through the opening on the vessels bottom the water is suctioned into the centrifugal pump rotor a), flows toward the pump spirale b) and outflows deflected by 15° to the horizontal plane.



**Slika 13** Centrifugalna propulzijska crpka - Schottelov model SJP®.

**Fig 13** Pump-jet propulsor - Schottel model SJP®

### 2.3. HYBRID STEERING-PROPULSION SYSTEM - HSPS

*Hybrid* SPS je kombinacija nekog običnog (jednostavnog) propulzora, vijka ili FPODa, i *azimuthing* SPU-a, najčešće je to *podded propulsor* POD, ali može biti i *azimuthing thruster (steerable thruster)* AT. Za ovaj sustav je bitno da je *azimuthing* SPU suosan (koaksijalan) običnom propulzoru, smješten tik iza njega i da se vrti u smjeru suprotnom smjeru vrtnje propulzora. Na razvoju HSPS se intenzivno radi, i u skoroj se budućnosti očekuje njegova široka primjena, pa mu je namijenjeno posebno poglavlje.

### 2.4. DOBRE STRANE ASPU I HYBRID SPS

Dobre strane zajedničke svim ASPU i *Hybrid* SPS, zbog koji su ovi sustavi za propulziju i upravljanje brodovima osvojili tako veliko polje primjene, nabrojene su u nastavku. No pojedini od SPS imaju i neke posebne - samo njima svojstvene – prednosti, o kojima će se kasnije raspravljati. Zajedničke vrline jesu:

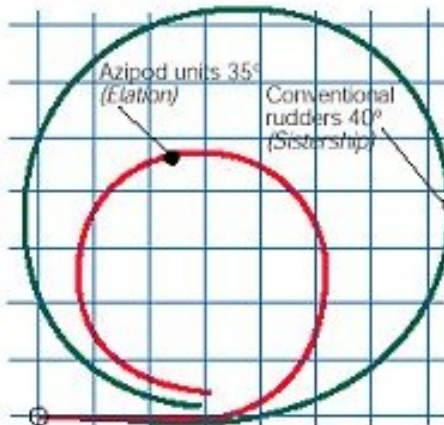
- izvrsna upravljivost mirujućeg broda, kao i pri plovidbi vrlo malim brzinama,
- brzo zaustavljanje,
- bitno smanjenje kružnice okretanja pri punoj brzini,
- posljedica nepostojanja kormila je smanjenje otpora, izbjegavanje opasnosti od kavitacijske erozije kormila, te smanjenje troškova i težine,
- smještaj vijka u vrlo jednolikom polju brzina povisuje njegov stupanj korisnosti i smanjuje štetne posljedice kavitacije (vibracije, erozija, buka),
- kod viševijčanih brodova nema otpora privjesaka,
- budući da ne postoji statvena cijev smanjen je gubitak snage u transmisiji,
- nepotrebni su kormilo i kormilarski stroja, pa su troškovi manji, a nosivost veća,
- jednostavna montaža (nema centracije osovinskog voda),
- nepotreban poprečni porivnik na krmi.

Mane ASPU i HSPS općenito su različite kod pojedinih tipova, i ne može ih se svesti na zajednički nazivnik, pa će se o njima govoriti kod opisa pojedinih tipova.

### 3. POD PROPULSOR – POD

*Pod propulsors*, ovo se ne odnosi na čvrsto vezani POD, zauzimaju u ovome članku počasno mjesto - što više, upravo radi njih ovaj je članak i napisan. Bitne značajke ovoga tipa SPU je a) ugradnja elektromotora u relativno vitku podvodnu gondolu koju, više manje vertikalno *strut* drži ispod broskog trupa, i b) mogućnost vrtnje gondole oko vertikalne osi za kut  $n \times \pm 360^\circ$ . Time je ostvareno osjetno smanjenje veličine kružnice<sup>8</sup> okretanja pri plovidbi punom brzinom, što je jedna od istaknutih odlika PODa. Na slici 14 su uspoređene kružnice okretanja za dva broda blizanca – jednog s POD propulzorom, i drugog s uobičajenim PRC.

Turning circle test at full speed



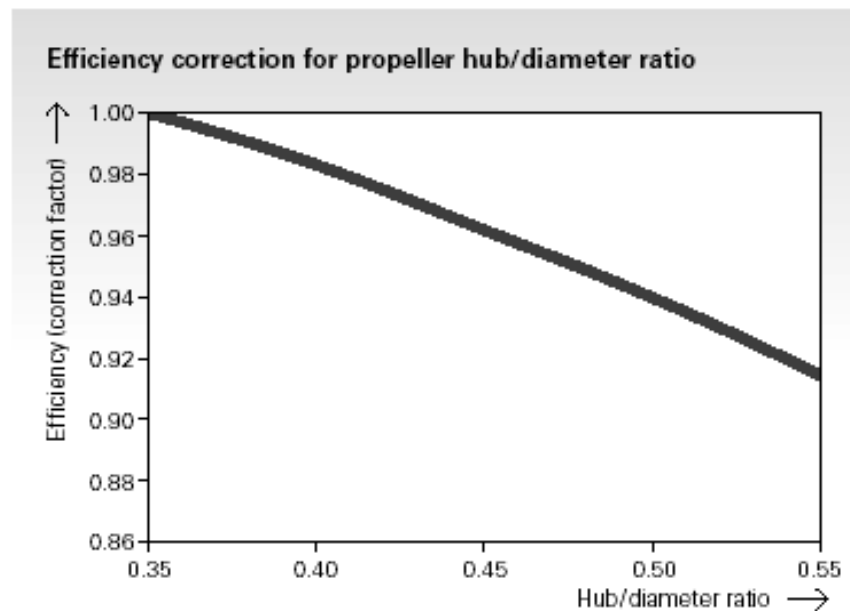
<sup>8</sup> Kod nas uvriježeni, ali netočan, nazivak «krug okretanja» nastao je kada se od dva značenja engleske riječi *circle*, *kužnica* i *krug*, neprikladno odabrao krug.

**Slika 14** Usporedba kružnica okretanja dva broda blizanca pri punoj brzini; jednoga s vijkom i običnim kormilom i drugoga s POD propulzorom

**Fig 14** Comparison of turning circles at full speed for two sisterships; one with common propeller rudder combination and another with POD propulsor

Glede hidrodinamičkih prednosti ovoga propulzora u usporedbi s AT treba upozoriti na smanjenje otpora gondole pri povećanju njene vitkosti, te na povećanje stupnja korisnosti vijka zahvaljujući smanjenju odnosa promjera glavine (koji je jednak promjeru gondole) i promjera vijka. Prednosti u odnosu na PRC su jednoliko polje brzina dostrujavanja, i susljedno tome smanjena opasnost negativnih učinaka kavitacije i vibracija te smanjenje otpora privjesaka.

Budući da je postizivi moment vrtnje elektromotora razmjernan njegovu promjeru, to se sa smanjenjem promjera gondole za istu snagu predanu vijku mora povećati njegova brzina vrtnje, što može biti nepovoljno u pogledu stupnja korisnosti. Ovdje se lijepo vidi potreba razumnog kompromisa pri odabiru oblika i dimenzija pojedinih dijelova broda.



**Slika 15** Korekcija stupnja korisnosti u ovisnosti o omjeru promjera glavine i vijka

**Fig 15** Efficiency correction for propeller hub/diameter ratio

Već odavno su uočene prednosti električne propulzije: izvrsna prilagodba dizelskih motora potrebnoj snazi, pa susljedno tome manje mehaničko trošenje, sniženje specifičnog potroška goriva, smanjenje zagađivanja atmosfere. Nadalje se povećava pogonska žilavost pogonskog postrojenja, i pojednostavnjuje se smještavanje većega broja brzokretnih dizelskih motora malih protega (dimenzija). Posebnosti suvremenog električnog pogona (transmisije/prijenosa) na brodovima su primjena *permanentnih magneta* umjesto elektromagneta (PME-permanent magnet excitation), čime se smanjuju dimenzije rotora; nadalje, zbog nepostojanja uzbude postiže se veći stupanj korisnosti

motora, a susljedno tome smanjuje se i disipacija energije pa je zato hlađenje pojednostavljeno, smanjuje se masa i cijena uređaja, a nepotrebni su klizni prsteni i četkice (jednostavnije održavanje).

Brzina vrtnje se regulira pomoću frekvencijskih pretvornika (*frequency converter*), koji dopuštaju korištenje nominalnog momenta vrtnje u čitavom području brzina. Nominalni je moment ograničen promjerom elektromotora kojega se međutim nastoji držati što manjim, da bi se ostvario hidrodinamički povoljni odnos duljine i promjera gondole. Zato se statorski namotaji neposredno dotiču oplata gondole – dakle gondola je istodobno i kućište elektromotora, a to je povoljno i za hlađenje. Primjenjuje se sustav jedne sabirnice, «bus-a», na koju se priključuju svi proizvođači i potrošači električne energije. Motori su izmjenični, trofazni i polifazni, sinkroni, s jednostrukim ili dvostrukim namotajima (radi veće sigurnosti pogona: u slučaju kvara na jednom namotaju motor i dalje radi sa smanjenom snagom). Prijenos električne snage sa sabirnice do gondole motora ostvaruje se najčešće sustavom kliznih prstenova (neki proizvođači su patentirali određene konstrukcije); time je omogućena neograničena vrtnja gondole,  $n \times (\pm 360^\circ)$ . Ako se umjesto kliznih prstenova primijene kabeli (kao kod Schottelovog SEPa), rotacija je ograničena na  $\pm 360^\circ$ .

Upravo je ovih dana objavljeno da je u SAD za mornaricu izrađen motor od 5MW s visokotemperaturnim supervodičima (High Temperature Superconductor – HTS), a dovršava se motor od 36,5MW. Masa HTS motora iznosi u prosjeku samo 1/3 mase običnog motora iste snage.

Prednosti električne propulzije dolaze do punoga izražaja na brodovima koji za ostale potrebe – ne samo za propulziju – troše mnogo električne energije, i kod kojih je ta potrošnja tijekom vremena vrlo promjenljiva.

Ostale prednosti POD propulzora već su nabrojene u 1.4.

POD propulzori se primjenjuju na raznovrsnim brodovima, no nisu jednako pogodni za sve tipove. Slijedeće smjernice nisu najnovije (one su iz 2001.godine), ali ipak mogu korisno poslužiti.

POD je vrlo prikladan za: dvovijčane (viševijčane) brodove za krstarenje, za dvovijčane RoRo i putničke trajekte brže od 30čv, te za ledolomcei brodove namijenjene službi u zaleđenim vodama.

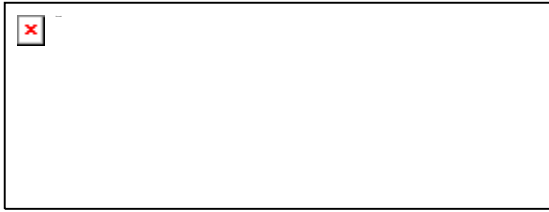
POD je prikladan za: pomoćne brodove, za jedno- i dvovijčane bulkere i tankere, za tankere za kemikalije i naftne derivate, te za brodove za prijevoz ukapljenog plina (LNG/LPG).

POD je manje prikladan za: jednovijčane kontejnerske brodove, nosivosti do 3000 TEU.

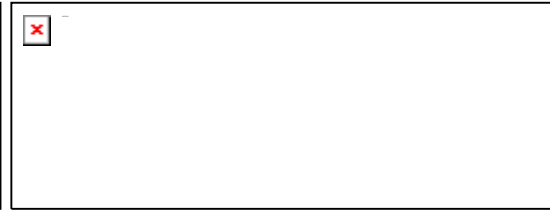
POD je neprikladan za: dvovijčane kontejnerske brodove, nosivosti od 1000 do 6000 TEU.

POD nikako ne dolazi u obzir za: jednovijčane kontejnerske brodove, nosivosti više od 3000 TEU

Za sada u svijetu samo četiri proizvođača (svi u Europi) izrađuju POD propulzore, no vjerojatno će se pojaviti i novi. A budući da ih je tako malo, lako je napraviti preglednu tablicu, pa će u tekstu biti nabrojene samo neke osobitosti pojedinih tipova POD propulzora.



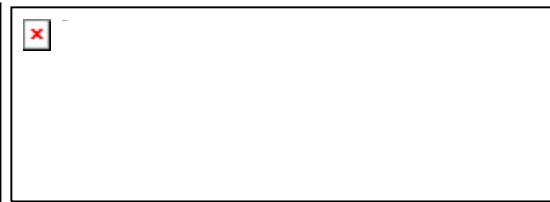
AZIPOD ® ABB Azipod



MERMAID □ Rolls - Royce / Alstom



SSP Schottel / Siemens  
Atlas



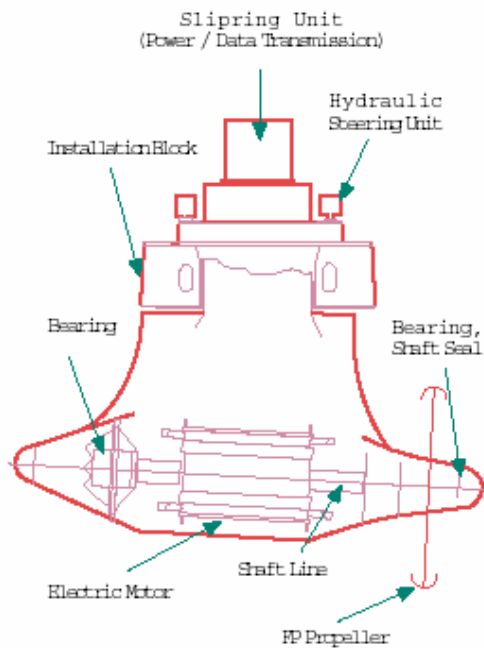
DOLPHIN John Crane - Lips / STN

U HSVA (Hamburgische Schiffs Versuchs Anstaltt) provedena su ispitivanja modela broda za krstarenje *Costa Classica* kojega je trebalo pregraditi tako, da umjesto dva vijka i dva kormila dobije dva POD propulzora. Analizirane su četiri varijante sa četiri razna PODa, prikazane na prethodnoj slici.

### 3.1. AZIPOD PROPULSOR

Tvrtka ABB, nastala spajanjem švicarskog Brown Boverija i švedske ASEAE, uložila je mnogo truda i novca kako bi proizvela gondolski propulzor za primjenu na velikim brodovima. U jednoj maloj finskoj tvrtki bio je prvobitno zamišljen uređaj koji je trebao, poboljšanjem upravljivosti, unaprijediti svojstva ledolomaca; tako je nastao *Azipod*®, (Azimuthing Podded Drive). Prvi je *Azipod* je 1990. godine ugrađen na

pomoćni brod *Seitti*. Sada se *Azipod*® može nabaviti za snage od 5MW do 30MW; slike



15 i 16.

**Slika 15** ABB Azipod® propulzor; glavni dijelovi  
**Fig. 15** ABB Azipod®; principal parts



**Slika 16** ABB Azipod®; *Radiance of the Seas*, 2×19,5 MW  
**Fig. 16** ABB Azipod®; *Radiance of the Seas*, 2×19,5 MW

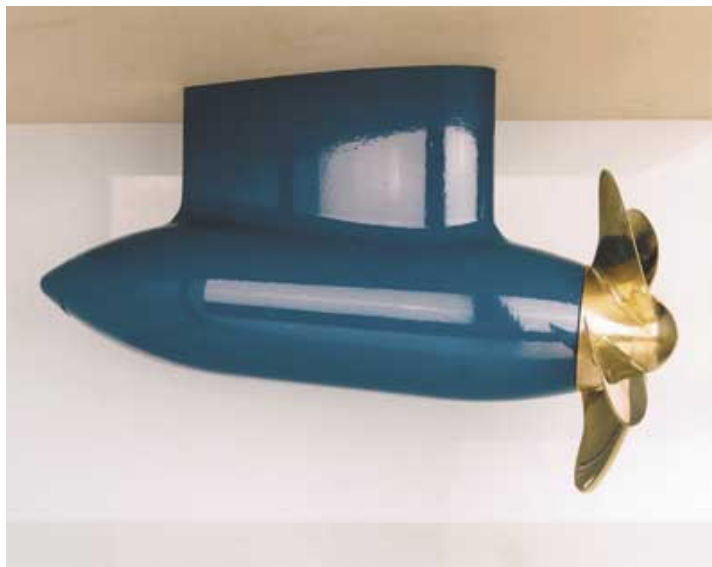
Za manje snage, od 0,4 MW do 5 MW, razvijen je posebni model nazvan *Compact Azipod*, Slika 17. Ovaj se uređaj izvodi ili s porivnim vijkom, bilo u sapnici, bilo slobodnim, ili s vučnim slobodnim vijkom. Tako se danas POD propulzori tvrtke ABB, zahvaljujući širokom rasponu snage od 400 kW do 38 MW, mogu ugrađivati na brodove vrlo različitih veličina.



**Slika 17** Compact Azipod® spreman za ugradnju  
**Fig. 17** Compact Azipod® prepared for fitting

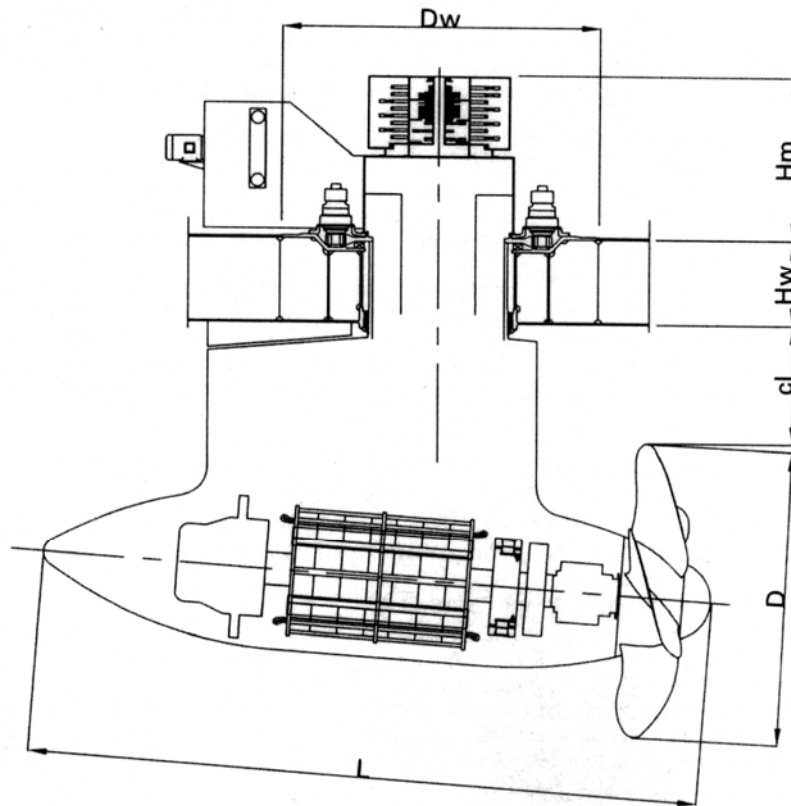
### 3.2. *DOLPHIN* PROPULSOR

Ovaj je gondolski propulzor, slike 18 i 19, plod suradnje nizozemskoga proizvođača vijaka, tvrtke John Crain-Lips, uklopljene u Wärtsilä Propulsion, i njemačke industrije električne i elektroničke opreme, SAM Electronics iz Hamburga.



**Slika 18** Dolphin gondolski propulzor – slika dobivena računalom  
**Fig.18** Dolphin podded propulsor –computer graphics

Brojne CFD analize i bazenski pokusi doveli su do oblika gondole koji omogućuje vrlo dobra manevarska i propulzijska svojstva. Koliko je poznato, do sada je samo brod za krstarenja *Seven Seas Voyager* opremljen ovim propulzorom.



**Slika19** Načelna skica gondolskog propulzora DOLPHIN  
**Fig.19** Schematic sketch of DOLPHIN podded propulsor

Dolphin ima jedan vučni vijak bez sapnice, a električna oprema je vrlo suvremena.

### 3.3. MERMAID

*Rols-Royceova* švedska *KaMeWa* u suradnji s francuskom tvrtkom *Alstom* proizvela je POD nazvan *MERMAID* – sirena. Proizvođač ovako opisuje svoj proizvod:



Slika 20 Mermaid gondolski propulzor

Fig. 20 Mermaid podded propulsor

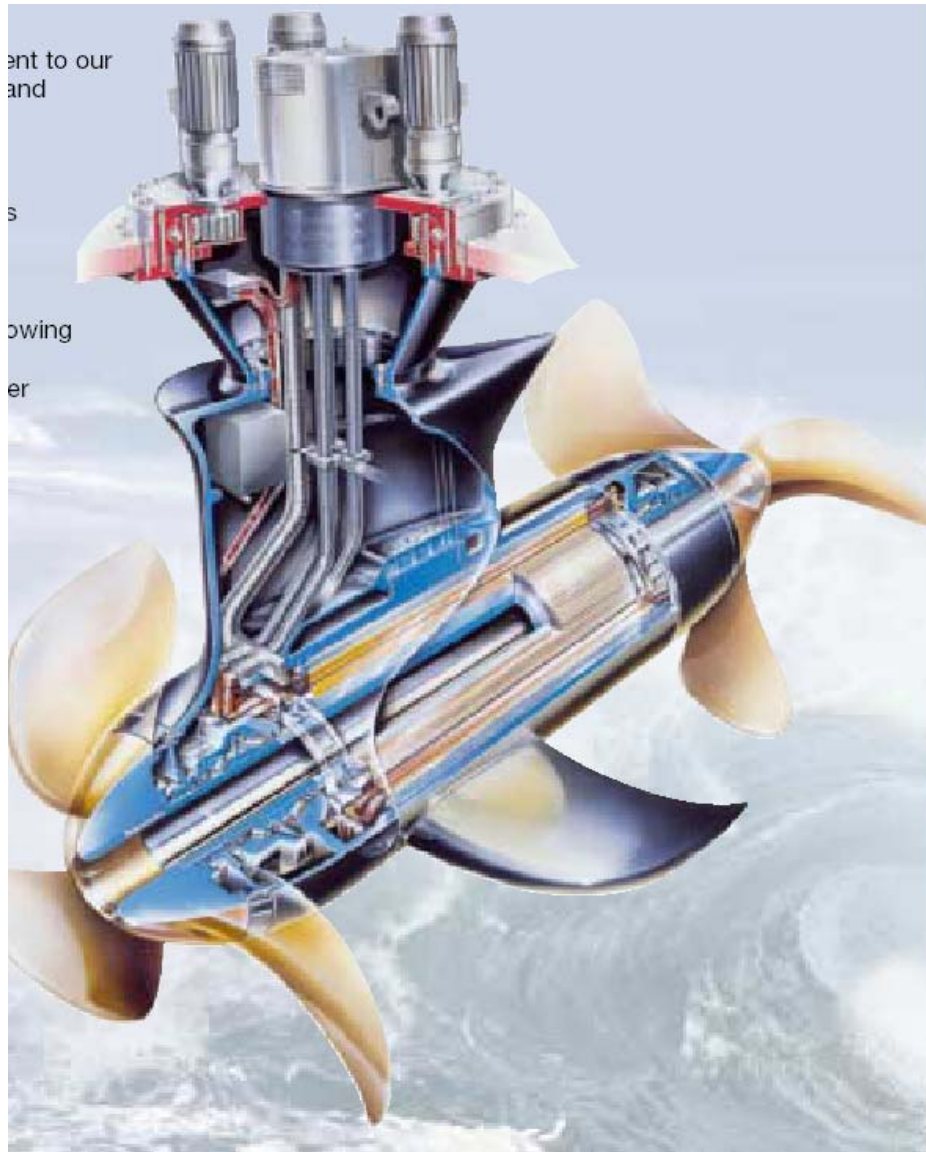
*MERMAID*, slika 20, omogućuje brže i sigurnije manevriranje zahvaljujući mogućnosti ostvarivanja željenog poriva unutar cijeloga područja kutova (puni kut). Smanjuje vibracije broda i razinu buke, te pomaže smanjivanju zagađivanja atmosfere. Ovim se propulzorom mogu postići brzine do 30 čvorova. Nepostojanje osovinskog voda, skrokova i kormila za 5 do 10% smanjuje otpor. Nadalje, optimiziranje oblika, smještaja i položaja *MERMAID*-a na brodu, omogućuje povećanje stupnja korisnosti propulzije za do 15%.

Minimalni broj mehaničkih dijelova omogućuje optimalno korištenje broskog prostora, povećava pouzdanost i skraćuje vrijeme ugradnje. Postoji inačica *MERMAID*-a koja, kod nekih tipova brodova, omogućuje podvodnu montažu i demontažu uređaja.

#### 3.4. SCHOTTEL – SIEMENS PROPULSOR

Svjetski poznati njemački proizvođač uređaja za propulziju, pionir na području usmjerivih porivnika – koji se, bez obzira na fabrikanta, i danas u žargonu nazivaju »šotel« - konstruirao je dva gondolska propulzora: Schottel Electric Propulsor – *SEP*®, i zajedno sa Siemensom, Schottel Siemens Propulsor - *SSP*®.

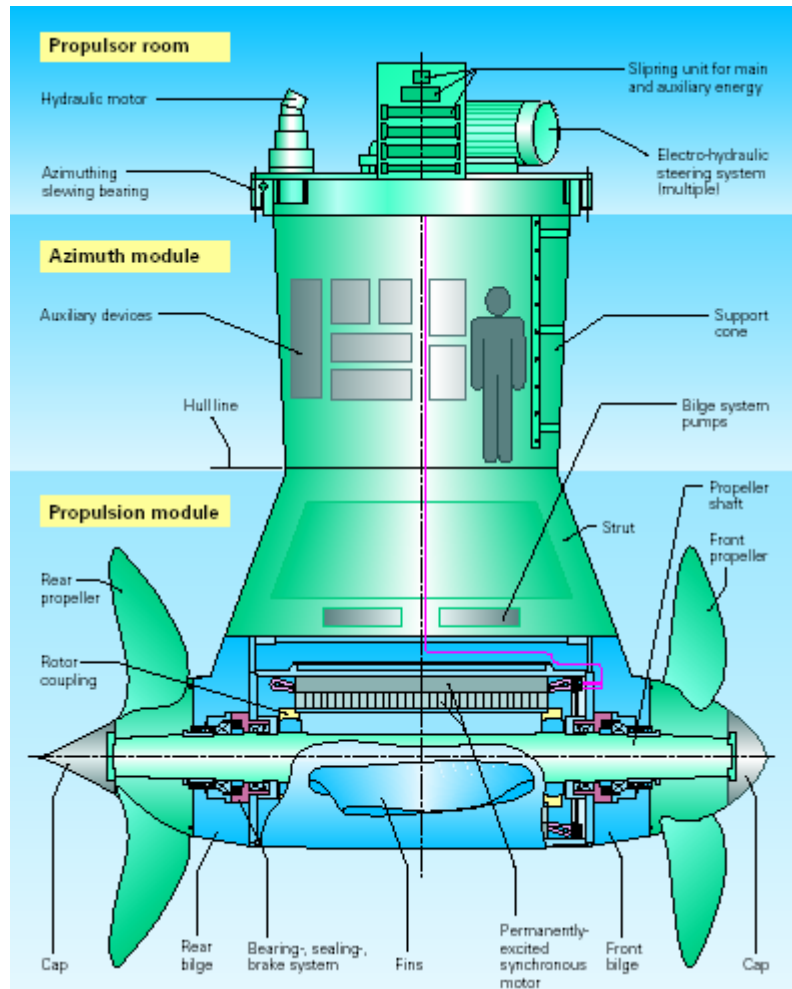
*SEP*, slika 21, je temeljen na konzervativnoj zamisli: uobičajeni motor s elektromagnetskim statorom (velike mase i velikih dimenzija, manjeg stupnja djelovanja), dovod snage pomoću kabela (nepotrebni klizni prstenovi, ali ograničenje vrtnje na jedan puni kut). Proizvode se za snage do 5MW.



**Slika 21** Schottelov gondolski propulzor SEP, s klasičnom uzбудom i kabelskim napajanjem elektromotora.

**Fig. 21** Schottel POD propulsor typ SEP.

SSP, slika 22, je suvremeno rješenje električne propulzije: PME (nepotreban ventilator i ispravljač za uzbuđu), klizni prstenovi, ciklokonverter. Hidrodinamički je optimiran na temelju rezultata ispitivanja u laboratorijima – kavitacijski tunel. Područje snage od 5MW do 20MW.



Slika 22 SSP Schotell Siemens propeler

Fig. 22 SSP Schotell Siemens Propeller

Prema najnovijim informacijama i u manji gondolski propulzor SEP odsada će Schotell ugrađivati PME elektromotore.

#### 4. HIBRIDNI PROPULZORI

Ovom vidu propulzora obećana je sjajna budućnost. Kao potomak nekoga propulzora iz porodice vijaka i pogonsko-upravljačke jedinice tipa POD, naslijedio je pretežno dobra svojstva. Gondolski propulzor ovom križancu osigurava izvrsnu upravljivost pri manevriranju i bez krmenih poprečnih porivnika. Zamisao složenog propulzora, sastavljenog od dva suprotnovrteća vijka CRP, je vrlo stara (već 1836.); njegove su prednosti smanjenje gubitaka nastalih zbog rotacije mlaza i poništavanje reaktivnog momenta vrtnje koji se prenosi na brod, a vrlo mu je veliki nedostatak složenost konstrukcije. Zato se do sada rutinski ugrađivao samo na torpeda, kojima jako smeta rotacija oko uzdužne osi. Taj se propulzor, sa ciljem povećanja stupnja korisnosti, na većim (deplasmanskim) brodovima primjenjivao rijetko, premda su neki japanski brodovi, naknadno opremljeni CRP, postigli osjetne uštede snage. Ali njegova se uporaba naglo proširila uvođenjem AT, usmjerivih porivnika, jer je tamo bilo razmjerno jednostavno riješiti konstrukciju. No najjednostavnije se načelo kontrarotacije vijaka

ostvaruje kod hibridnih propulzora. I upravo suosni slog suprotnovrtećih vijaka je jedno od generičkih svojstava tih najnovijih propulzora. Ideju je švicarsko-švedska tvrtka ABB zaštitila pod imenom CRP Azipod®. Prve brodove opremljene takvim propulzorom sagradilo je 2004. godine brodogradilište Mitsubishi Heavy Industries – Nagasaki za društvo Shin-Nihonkai Ferry. Te dvije RoPax prijevoznice (trajekta) pogonjene su s po jednim hibridnim propulzorom; dizelskim motorom pokretani vijak upravljivog uspona CPP dobiva 24 MW, a Azipod apsorbira 17,6 MW, slika 23.



**Slika 23** RoPax prijevoznica opremljena CRP Azipodom 24MW+17,6MW

**Fig. 23** RoPax ferry with CRP Azipod 24MW+17,6MW

Hibridni propulzori bitno pridonose povećanju stupnja korisnosti propulzije na tri načina. Poboljšanje stupnja korisnosti zbog smanjenja gubitaka uslijed vrtnje mlaza već je bilo raspravljeno. Na brodovima koji su prvi kandidati za ugradnju hibridnih propulzora, a to su RoPax, ULCS, LNG i tankeri, uobičajena je ugradnja dva vijaka. Međutim, ako se primjenjuje hibridni propulzor, onda je dovoljan samo jedan. Tako otpadaju vijčane osovine i nogavice, ili skrokovi, pa se time smanjuje otpor broda. Jednovijčani brod ima stupanj utjecaja trupa veći od jedan, dok je taj stupanj kod dvovijčanog broda manji od jedan, pa je to još jedna prednost hibridnog propulzora. Ispitivanja hibridnih propulzora obavljaju se u kavitacijskim tunelima, slika 24.



**Slika 24** Ispitivanje hibridnog propulzora u kavitacijskom tunelu

**Fig 24** Hybrid propulsor model testing

## 5. QUEEN MARY II

Vjerojatno je u stručnim krugovima vrlo dobro poznato kakav propulzorsko upravljački sustav ima QM II. Zato neće biti teško pogoditi što je zajedničko drevnome veslu i najsuvremenijem brodu za putovanja bez prave potrebe i bez određenoga cilja. Odgovor glasi:

*«Gondolski propulzori QM2 obavljaju i zadaću pogona i zadaću upravljanja jednako kao što to čini veslo»*



**Slika 25** QM II - Kraljica mora

**Fig 25** QM II – Queen of the Sea

SPS ovoga izvanrednoga broda sastoji se od dva nepomična *MERMAID* gondolska propulzora i dva upravljiva propulzora istoga tipa, Slika 26. Na toj, u suhome doku snimljenoj slici, vide se *MERMAID* POD propulzori, s četverokrnlnim vučnim FP vijcima. Premda su vertikalni nosači gondola (*strut*) oblikovani tako da služe kao stabilizatori, njihova ploština nije dovoljna da osigura potrebnu stabilnost smjera/kursa, pa je ugrađen *skeg*. Na njemu i na POD propulzorima pričvršćeni su cinčani protektori. Zbog izrazitog U oblika krmenih rebara trebalo bi strahovati od jakih vibracija; no, prema fotografiji, može se zaključiti da vijci rade u vrlo jednolikom polju dostrujavanja, tako da se ne očekuje nestacionarna kavitacija - najčešći uzročnik ozbiljne vibracijske uzbude. Ovaj golemi brod, izgrađen za »samo« 800 milijuna dolara, ima vrlo suvremeni sustav električne propulzije; na zajedničku su sabirnicu priključeni svi proizvođači i potrošači električne energije. Četiri dizelska motora najsuvremenije konstrukcije Wärtsilä i dvije plinske turbine gone generatore koji se uključuju u ovisnosti o trenutnoj potrošnji. Četiri Azipoda, troše ukupno najviše 86 MW, ako se želi ploviti u nepovoljnim vremenskim uvjetima Sjevernog Atlantika na liniji Southampton – New York brzinom od 30 čv, dok »hotelska« potrošnja iziskuje još 32 MW.

Na koncu još samo nekoliko usporedbi i zanimljivosti. Samo jedna «sirena», jedan gondolski propulzor, guta čitavu nazivnu snagu oba agregata HE Rijeka. Ukupna proizvodnja električne energije - 118 MW, po prilici je jednaka 60% snage jednog (od dva) bloka TE Sisak.

Akustička snaga brodske sirene je tako velika da se njezin zvuk čuje na udaljenosti većoj od deset milja.



**Slika 26** MERMAID propulzori QM2

**Fig. 26** MERMAID propulsors QM2

## 6. ZAKLJUČAK

Što li bi se sada, na koncu priče, moglo reći?

Najvažniji je zaključak da smo suočeni s korjenitim promjenama glede čitavog sustava propulzije, s tehničkim rješenjima o kojima se ranije nije moglo niti slutiti, a danas – u okružju novih tehnologija – na dohvatu su nam ruke.

Nove tehnike brodske propulzije, plod neslućenog razvoja tehnologije novih gradiva (tvoriva, materijala), vrlo će vjerojatno ubrzo radikalno izmijeniti sliku brodova i brodarstva.

Kod propulzora se je dogodila spirala: *veslo* – pradávná pogonsko-upravljáčka jedinica dobila je nasljednika na novoj, mnogo višoj razini – *gondolski propulzor*. Netko je nekada rekao: *Novo je zaboravljeno staro!*

Čini se da se nošen modernim trendovima: više novca, više užitka, više slave, malo tko još ima vremena baviti tako ispraznim stvarima kao što je to briga o jeziku. Pa kada je u globalnom selu nastala babilonska zbrka riječi, pojmova i termina, bar mi, mali narod bogate kulturne baštine, moramo smoći snage unijeti red u svoj jezik.

## LITERATURA

- [1] [MEWIS, 2001] MEWIS, F., «Pod Drives – Pros and Cons», Hansa, 138. Jahrgang, Nr 8, S. 25-30, 2001]
- [2] [VOJTKUNSKIJ, 1985] VOJTKUNSKIJ, JA.I., REDAKTOR, "Spravočnik po teorij korablja, Tom tretij", Sudostroenie, Leningrad, 1985.
- [3] [BELAMARIĆ, 2004] BELAMARIĆ, I., "Putničkibrod *Queen Mary 2*", Brodogradnja 52(2004)2, p.143-148.
- [4] [Matusiak, 2004] MATUSIAK, J., "Hydrodynamic aspects of hybrid propulsors using the contra-rotating propeller concept", Marine News, 2004