
3.6 Hadihajók és tengeralattjárók

3.6.1 Hadihajók

A *hadihajókat* szokás felosztani harci járművekre és segédjárművekre, vannak azonban olyan különleges feladatokra szolgáló hajók is közöttük, amelyeket egyik csoportba sem lehet besorolni.

A nagy harci járművek esetében a hajóknál (anyahajók, rakétacirkálók, rombolók és nukleáris főüzemű tengeralattjárók) általában érvényes paramétereket, mint stabilitás, sérült úszóképesség, szilárdság, stb., fokozottan megfelelő értékűre kell kiválasztani tervezésnél – ezért annyira drágák ezek a hajók. Természetesen elsődleges a katonai funkciójuk, hiszen anélkül nem lenne rájuk szükség, annak kiváló teljesítéséhez azonban szükség van sebességre, a személyzet és fő funkciójuk ellátására (amelyet az erre tartott ellátó hajók biztosítanak), hasznos terhelésként fegyverekre és lőszerre, illetve arra képességre, hogy extrém körülmények között is működőképesek maradjanak.

A haditengerészet segédjárművei már sokkal jobban emlékeztetnek megjelenésükben a kereskedelmi hajókra, mivel azonban gyakran kell hadihajókkal közös küldetésekben részt venniük, kompatibilisnek kell lenniük azokkal sebesség és egyéb paraméterek tekintetében, hogy nehezebb időjárási viszonyok között is teljesíthessék feladataikat. Tehát emiatt ezeknek a hajóknak az építési költsége is magasabb a hasonló kereskedelmi hajókénál.

Követelményeik miatt beszélhetünk a hadihajók között az oceanográfiai kutatóhajókról is. De a parti őrség hajói és a jégtörők sem tartoznak a kereskedelmi hajók közé, ugyanúgy helyt kell állniuk nehéz időjárási viszonyok és egyéb természeti megpróbáltatások között. A kisebb hajóknál, amint azt láthattuk a hajók ellenállásának tárgyalása során, a szükséges teljesítmény nem csökken a méretek arányában hasonló sebességtartományban, tehát a vízkiszorításnak viszonylag nagyobb részét kell az üzemanyag tárolására rendelni. Ez az oka, hogy meg kell találni az optimumot a sebesség és a hajótest szilárdsága között.

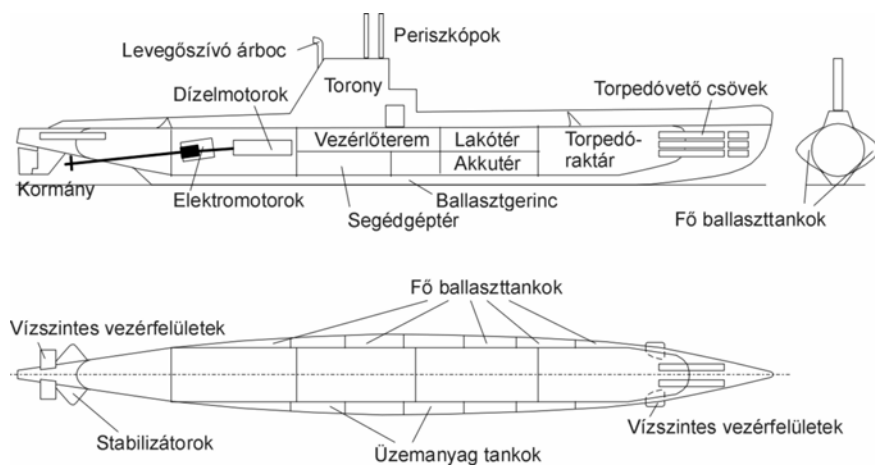
3.6.2 Tengeralattjárók

A *tengeralattjárók* olyan hajók, amelyeket arra terveznek, hogy bizonyos mélységben a víz alatt üzemeljenek. A jelenleg üzemben levő tengeralattjárók döntő többsége hadihajóként áll szolgálatban. A kereskedelmi tengeralattjárók oceanográfiai kutatási célokat szolgálnak, illetve kisebb hasonló járművek a parti vizeken létesített olaj- és gázfűró tornyok kiszolgálását végzik (csőfektetés, stb.). Ezek a járművek normál kereskedelmi munkára gazdaságtalanok.

A tengeralattjárók két különböző elven működhetnek, a *hagyományos elv* a hajó összsúlyának változtatása beengedett és kiszivattyúzott víz segítségével. A jelenleg működő járművek döntő többsége az 1950-es években kidolgozott *bathyscaphe konstrukciót* alkalmazza, ami azt jelenti, hogy a magassági helyzetet a vízkiszorítás változtatásával (bizonyos külső terekben levő víz sűrített levegős kiszorításával) vagy ballaszt ledobásával szabályozza.

A tengeralattjáró kifejlesztésének eredeti célja az volt, hogy az ellenséges hadihajókat torpedóval megtámadják. Ez kezdetben nagyon könnyű feladat volt észrevehetetlenségük miatt. A haditechnikának az a tendenciája, hogy egy támadó fegyverrel szemben azonnal megkeresik az ellenkező hatású eszközt, rövid idő alatt a tengeralattjárók ellen is megtalálta a védekezést. Nagy ösztönző volt, hogy a totális háború mentsége alatt a kereskedelmi hajók is veszélybe kerültek, főként, mivel azokat is gyakran használták hadi célokra.

A tengeralattjárók fegyverzete ma már túlmegy a torpedókon, fedélzetükről a víz alól indíthatnak cirkáló rakétákat távolabbi, akár szárazföldi célpontok ellen. Lehetőségük van hadihajók vagy repülőgépek ellen is védekezni vagy azokat támadni. Kiválóan alkalmazhatók kisebb csapatok észrevétlen partra szállítására.



3.6.2.1 ábra
Hagyományos
tengeralattjáró
elrendezése

A tengeralattjárók kettős feladata, hogy a felszínen és a víz alatt egyaránt képesek működni, szükségessé teszi, hogy a tervezők a

hajóelméleti vizsgálatokat mindkét üzemben elvégezzék. Sőt, azt is vizsgálni kell, hogyan viselkednek a két fázis közötti átmenet szakaszában.

A *hagyományos tengeralattjáró* általános elrendezését mutatja a 3.6.2.1 ábra. Amint látjuk, a felszíni hajóval szembeni fő különbségek a következők.

- Alakja, amelynek biztosítania kell alámerül állapotában a jó hatásfokú propulziót.
- A főborda formája kör, ez biztosítja a hajótestet terhelő nagy hidrosztatikus nyomás elviselését nagyobb mélységekben. A kör keresztmetszet ugyanakkor nagyobb merülést tesz szükségessé azonos vízkiszorításnál, mint egy felszíni hajótestnél megszokott. Azt is szükségessé teszi, hogy dokkoló gerinccel lássák el a hajótest alsó részét, illetve a domború fedélzethez megfelelő közlekedő felület a kikötőben tartózkodó hajó személyzetének közlekedéséhez.
- A *független kormányfelületek*, amelyek a magasság és a trim beállítását szolgálják menet közben.
- Tankok biztosítják a *magassági helyzet szabályozását*, ezek a mai tengeralattjárókon a nyomásálló héjon kívül vannak elhelyezve.
- A *kettős propulziós rendszer*. A mélyben haladó tengeralattjárót elektromos motorok hajtják, amelyek táplálását az akkumulátor biztosítja, a felszínen dízelmotoros meghajtással közlekedik. Az akkumulátort gyakran és sokáig kell tölteni, tehát a hagyományos tengeralattjáró a felszínen vagy periszkóp-mélységben kell, hogy haladjon meglehetősen hosszú időszakokban. Ezeket a hátrányokat

küszöböli ki a nukleáris főüzem, illetve azok a meghajtási módok, amelyek nem igényelnek levegőt.

- (f) A *periszkópok* és az érzékelő árbocok, amelyek nélkül a tengeralattjáró nem haladhatna a felszín alatt közvetlenül.
- (g) A különleges levegővételező nyílás, az úgy nevezett *szippantó árboc*, amely lehetővé teszi, hogy a jármű periszkóp-mélységben haladjon.
- (h) A különleges berendezés a *tengeralattjáróban levő levegő kezeléséhez*. A normál légkondicionáló berendezéssel szemben szükség van a széndioxid közömbösítésére és oxigén generálására is.

Néhány szempont a tengeralattjárók tervezéséhez.

- (a) *Hidrosztatika*. Bár a magassági kormányfelületekkel ki lehet egyenlíteni kisebb egyensúlyzavarokat, alámérvült állapotában a járműnek pontosan akkora vízkiszorításának kell lennie, amennyi a súlya, és a vízkiszorítás B súlypontjának függőlegesen a G rendszersúlypont felett kell lennie. A biztonság érdekében a gyakorlat az, hogy a vízkiszorítást nagyon kevésel többre állítják be, mint a jármű súlya. Mivel a nyomásálló héjon belül elhelyezett súly- és trimszabályzó tankok térfogata korlátozott, a tervezés során a súlyokra és azok helyzetére végzett számításnak sokkal pontosabbnak kell lennie, mint egy felszíni hajó esetében. Az utóbbinál az ilyen hibák legfeljebb azt eredményezik, hogy a tervezési merülés és trim nem valósul meg. Ha viszont egy tengeralattjáró túl nehéz, elsüllyed, ha pedig túl könnyű, nem tud lemerülni. Ha B és G nem esik egy függőlegesre, hatalmas trim alakulhat ki, mivel itt nincsenek bemerülő és kiemelkedő 'ékek', amelyek elmozdítják egy felszíni hajónál a B helyzetét. Tengeralattjárónál a trim megnevezés a tökéletes egyensúlyra utal, az orr és a far irányában való szögeltérés az előre vagy hátra billenést jelenti. Ez a kritikus súly-vízkiszorítás egyensúly azt is jelenti, hogy ha súlyt dobtak ki a járműből (pl. torpedót löttek ki), a megfelelő mennyiségű vizet be kell engedni a fedélzeti tankba, ami a súlyvesztéséget haladéktalanul kompenzálja.
- (b) *Stabilitás*. A lemerült állapotban levő tengeralattjárónál a B függőlegesen a G felett van, hossz- és keresztirányban tehát nincs közöttük koordináta eltérés. Felmerült állapotában azonban el kell végezni a stabilitászámítást, mivel a vízvonal felülete viszonylag kicsi, a súlypont pedig feljebb kerül, amint a torony kiemelkedik a vízből, tehát a kritikushoz közeli stabilitási helyzet jöhet létre.
A tengeralattjárókon a döntéspróbánál komolyabb különleges tesztekkel kell végezni, amelyet *trimelési és döntéspróbának* neveznek. Ennek célja a tervezési feltételek teljesülésének igazolása. A végső korrekciókat az úgy nevezett ballasztgerinc beállításával lehet megvalósítani.
- (c) *Szilárdság*. A nyomásálló héjnak el kell viselnie a mélységben uralkodó nagy nyomást. A hajótest szerkezeti kialakításának meg kell felelnie a hajlítófeszültségek miatti aszimmetrikus terhelésnek. A hosszirányú hajlítás kisebb mértéke miatt nem célszerű hosszborða rendszert alkalmazni, ahelyett inkább egy nyomástartó edény szerkezetét érdemes alkalmazni. A legjobb alakot a kör keresztmetszetű henger adja, ennél is jobb lenne a gömb, de azt csak egyes kutató tengeralattjárókon használják. A méretezésnél, ha a megengedhető feszültség állandó marad a mélységtől

függetlenül, a héjlemez vastagsága, vagyis a hajó súlya a mélységgel arányosan nő. Adott méretek és anyag esetén van olyan kritikus mélység, ahol már a hajó nem képes hasznot terhet hordani. A héj szilárdságát javítják az alkalmazott vízmentes keresztválaszfalak, amelyeket a számításnál meglehetősen nehéz figyelembe venni. A tengeralattjáró balesetek kiértékelése során a hajótest összeroppanásának a következő eseteivel találkoztak.

- A bordaközi lemezhengeter berogyása a radiális terhelés hatására. Ilyen baleset akkor fordul elő, ha nagy számú varrat keresztezi egymást.
- Válaszfalközi berogyás, ami két vízmentes válaszfal közti héjszerkezet összeroppanását jelenti a bordákkal együtt. Ehhez hozzájárul, ha a szerkezet alakja eltér a körtől.
- Bordakihajlás.

Napjainkra a tervezési módszerek sokat fejlődtek, ezért a legtöbb esetben csak a bordaközi beroppanás fordul elő, az is csak akkor, ha a maximális megengedett nyomás másfélszeresét eléri a tényleges nyomás. Tapasztalati értékek vannak, hogy az egyes szerkezeti elemek hibáiból mennyi engedhető meg. A legkomolyabb hiba a körtől való eltérés.

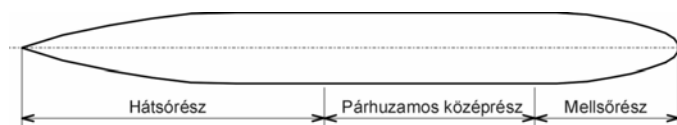
A szilárdsági méretezés részleteit nem tárgyaljuk, a bibliográfiaként megjelölt források további segítséget adhatnak.

- (d) *Dinamikus stabilitás.* Számos parti vízben a vízmélység korlátozott. Ilyen esetekben a fenéknek ütközés veszélye áll fenn, ha a jármű orra lefelé billen. Az ütközés elkerülése csak jó dinamikus stabilitással lehetséges.
- (e) *Főgép teljesítménye.* A tengeralattjáró nedvesített felülete nagyobb, mint egy ugyanakkora vízkiszorítású felszíni hajóé. Ez nagyobb súrlódási ellenállást jelent, ugyanakkor a hullámképző ellenállás lényegesen kisebb, ha a jármű elegendő mélységben halad, ami kb. a hajóhossz felének megfelelő vízmélységet jelent.

Sztatikus súly és vízkiszorítás vezérlés

Tengeralattjárókra jellemző alapfogalmak

A *vízbenmerült hajótest vízkiszorítása* a sablon szerinti burkolaton kívül tartalmazza a függelékek vízkiszorítását is, így azokat korrekcióval figyelembe kell venni a tengeralattjáró látható hajótesténél (3.6.2.2 ábra).



3.6.2.2 ábra Sablon szerinti burkolat definíciója

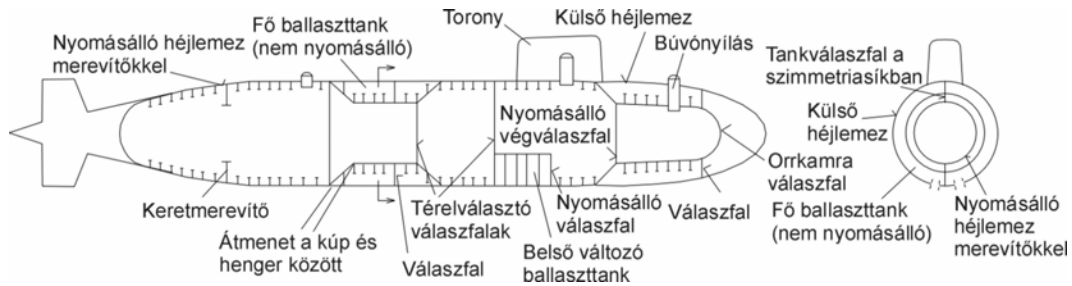
Negatív függelékeknek nevezzük

azokat, amelyek a sablon szerinti burkolaton belülre esnek, és nem lehet belőlük a vizet kifűvratni. Ennek példái az orr és far környékén levő szabadon elárasztódó térfogatok. Ezeknek a negatív függelékeknek a térfogatát le kell vonni a sablon szerinti térfogatból, amikor a tényleges vízkiszorítást számítjuk ki.

*Pozitív függelékek*ként szerepelnek a nem szabadon közlekedő térfogatelemek a sablon szerinti burkolaton kívül, valamint a lejárók, lejárati kiemelkedések, tengelyek, torpedócsövek, stb., amelyek a szabadon elárasztott térfogatokon belül esnek. Példák a külső pozitív függelékek között a kormányok, vezérfelületek, hajócsavar,

torony, illetve minden hasonló nem szabadon elárasztódó térfogat. A pozitív függelékek térfogatát hozzá kell adni a sablon szerinti burkolat térfogatához a tényleges vízkiszorítás számításánál.

A fő vízballaszt, amely része a teljes lemerült vízkiszorításnak, a fő ballaszttankokban (main ballast tanks, MBTs) van elhelyezve, ezek belül vannak a sablon szerinti burkolaton, de a nyomásálló héjon kívül (3.6.2.3 ábra). Ez teszi lehetővé, hogy a jármű a felszínre emelkedhessen, amikor a vizet levegővel kiszorítják belőlük.

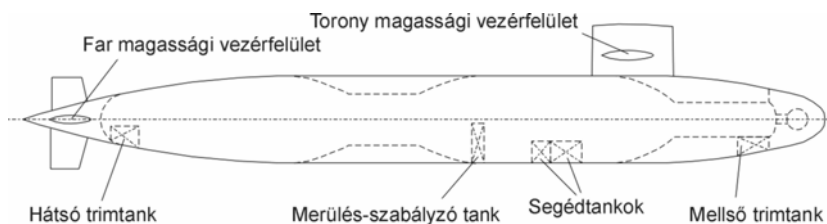


3.6.2.3 ábra Tengeralttjáró vasszerkezeti sémája

A tankok mérete határozza meg a szabadoldal mértékét (tartalék vízkiszorítás), hosszirányú elhelyezésük pedig a felszínen úszó tengeralttjáró trimjét befolyásolja. A fő ballaszttankok térfogatának meghatározásakor le kell vonni a tankokon belül elhelyezett különféle felszerelések térfogatát, pl. a negatív függelékekét, a saját vízkiszorítással bíró tételekét, amilyenek a légpalackok, a maradék víz térfogatát, amelyet már nem lehet kiszorítani, valamint az ólom ballaszt térfogatát és súlyát is figyelembe kell venni.

Az üres hajó kifejezés tengeralttjárónál a hajó összes állandó alkatrészét jelenti. Ezt a tervezés és építés során rögzítik le, és a hajón elvégzett minden változtatással egyidejűleg korrigálják.

Az ólom ballaszt arra szolgál, hogy a hajó építése során elkerülhetetlen kisebb súlybecslési eltéréseket ki lehessen egyenlíteni. Annak érdekében, hogy a keresztirányú stabilitás romlását megakadályozzák, az ólom egy részét a fő ballaszttankokban helyezik el, bár azzal a tankok kapacitását rontják, és nőhet a maradék víz mennyisége.



3.6.2.4 ábra Merülés és trim szabályozását szolgáló tankok és vezérfelületek

Lemerülést biztosító terhelés alatt is az a súlykülönbség értendő, amennyivel nagyobb az üres hajó és az ólom súlya a vízbemerült hajótest vízkiszorításánál. Ennek összetevői a lemerítő ballaszt, a változó terhelés, a változó ballaszt és a maradék víz.

Lemerítő ballaszt a fő ballaszttankok kapacitása a maradék vízen kívül, és dízel-tengeralttjáróknál az üzemanyag ballaszttankok nettó kapacitása. Ez egyébként

megegyezik a tartalék vízkiszorítással felszínre emelkedett állapotban.

Változó terhelés összetevői a legénység, a rakomány és az ellátmány, mint pl. üzemanyag, élelem, ivóvíz, fegyverek, amelyek nem képezik a hajó állandó részét.

Változó ballasztra azért van szükség, hogy korrekciókat lehessen alkalmazni a változó terhelés és a tengervíz fajsúlyában előforduló eltérés miatti súlytöbblet vagy hiány miatt. A változó ballaszt tankjainak a hajó hossza mentén történő elosztása lehetővé teszi ballasztvíz felvételét vagy kidobását a vízkiszorítás és a trim megfelelő beállításához (3.6.2.4 ábra).

Dinamikus merülés és trim vezérlés

A változó ballaszttankokon és kis sebességnél használt sztatikus trimvezérlésen kívül a tengeralattjárók rendelkeznek szárnyprofilszerű vezérfelületekkel is, amelyek a merülés és trim gyors szabályozását szolgálják. Ezek kb. 3 csomó feletti sebességnél hatásosak.

A torony magassági kormányok felhajtóerővel bíró vízszintes szárnyfelületek, amelyet a torony oldalára építenek. Elsődleges szerepük a merülés szabályozása, de másodlagos funkcióként a trimet is változtatni lehet velük.

A farsíkok vízszintes kormányfelületek, elhelyezésük közvetlenül a hajócsavar előtt vagy mögött szokásos, és amelyeknél a trim vezérlése az elsődleges feladat, a merülésé pedig a másodlagos funkció.

3.6.2.1 Tengeralattjárók hidrosztatikai és stabilitásszámításai

Amikor a tengeralattjáró a víz felszínére felemelkedett állapotban van, azokat a jellemzőket mutatja, mint egy felszíni hajó, de vannak szembeötlő különbségek. A II. Világháború végéig a tengeralattjárók lényegében olyan felszíni hajók voltak, amelyek le tudtak merülni. Tartalék vízkiszorításuk meghaladta az alámerült vízkiszorítás 30%-át, elegendő méretű vízvonalfelületük pedig a felszínen jelentős stabilitásra volt képes. A korszerű nukleáris főüzemű tengeralattjárók „valódi” víz-alatti járművek, amelyeknek időnként a felszínen is kell tartózkodniuk. Ezeknek a tengeralattjáróknak a tartalék vízkiszorítása csak kb. 11%-a a lemerült vízkiszorításnak, vízvonalfelületük pedig limitált. Mivel mindkét típusú tengeralattjáró esetében a rendszersúlypontnak függőlegesen a vízkiszorítás súlypontja alatt kell lennie a megfelelő keresztstabilitás érdekében, stabilitásuk tartománya majdnem 180° , a maximális visszatérítő kar pedig kb. 90° -nál alakul ki.

Érdeemes felidézni, hogy a felszíni hajók stabilitási jellemzői kér dologtól függenek.

1. *A vízbemerült rész alakjától és a B és M helyzetétől.* A szokásos felszíni hajók szabadoldala viszonylag magas, oldaluk pedig közel van a függőlegeshez, az orrnál pedig kifelé hajlik, sőt, tulipánosságot is tartalmaz. Ha a *G* helyzete kedvező, az nagy visszatérítő karokat és jó stabilitási tartományt eredményez. Ez azért van így, mert a vízvonalfelület a dőlési szög nagy értékéig növekszik (kivéve, ha a fedélzet széle bemerül), aminek hatására a *B* jobban elmozdul a dőlés irányában, mint akkor történe, ha a vízvonalfelület megközelítően konstans maradna. Ez a visszatérítő kar értékében is megmutatkozik. Ezzel szemben a nukleáris tengeralattjáró szabadoldala alacsony, és keresztmetszete a körhöz van közel. Tehát a vízvonalfelület alig nő a dőlésszöggel.

2. *A súlyok függőleges helyzetétől.* Amint már láttuk, a tengeralattjárón a nagyobb súlyok alacsonyabban vannak elhelyezve, aminek eredményeként a G súlypont lejjebb kerül, mint egy hasonló felszíni hajónál találjuk. Az alacsonyan levő G az egyetlen tényező, amely segíthet az alak miatti rosszabb stabilitást kiegyenlíteni. A G alacsony helyzete érdekében az ólomballasztot általában a fő ballaszttank alján helyezik el, ennek súlya általában a lemerült vízkiszorítás 3%-a körül van. Adott B és M esetén a G lejjebb kerülése javítja a stabilitást, amelynek tartománya széles, bár a visszatérítő karok viszonylag kis értékűek. Ezért a felszínre emelkedett tengeralattjáró stabilitási görbéje laposabb és szélesebb egy hasonló felszíni hajóéhoz képest.

Stabilitás lemerült helyzetben

Amiatt, hogy a teljesen víz alá merült hajónak nincs vízvonalfelülete, az I másodrendű nyomaték és következésképpen a BM metacentrikus sugár értéke is zéró. A B és az M pontok tehát összesnek, a G pedig függőlegesen a B alatt helyezkedik el. A lemerült helyzetben érvényes stabilitás szempontjából a BG értéke a legfontosabb, mivel a visszatérítő kar nagysága:

$$GZ = BG\sin\phi$$

A visszatérítő nyomaték pedig:

$$M = \Delta BG\sin\phi$$

A hasonló felszíni hajó stabilitásával legjobban úgy lehet összehasonlítani, ha közös koordináta-rendszerben ábrázoljuk a kettőt.

3.6.2.2 Kereskedelmi tengeralattjárók

Mostanáig a tengeralattjárókra érvényes elveket (leginkább a bathyscaphe elvet) leginkább csak igen kis méretű járműveknél alkalmazták, bár ezek közül néhányan meglehetősen mélyre lemerültek. Számos ezek közül személyzet nélküli jármű, amelyet távolról irányítanak. Ezeknek a járműveknek a legnagyobb része az óceán mélyebb részeinek felkutatásával van kapcsolatban, amibe az óceán természeti kincsinek kiaknázása is beletartozik. A kis tengeralattjárókat arra is felhasználják, hogy a mélyben rekedt tengeralattjárók legénységét megmentésük vagy hajóroncsokat vizsgáljanak meg. A kisebb járművek arra is használhatóak, hogy turisztikai céllal embereket vigyenek le a tenger csodáinak megtekintésére. Természetesen erre olyan helyeken kerülhet sor, ahol tiszta a tenger és az élővilág gazdag. Hasonló hajók Floridában és a Karib-tengeren 40 utast szállítanak.

Vannak olyan helyzetek, mint pl. egy part-menti olajfúró berendezés szervizelése, amikor az ilyen kis tengeralattjárók kínálják az egyetlen elfogadható megoldást. A turisztikai felhasználás inkább a jövedelmezőség miatt létjogosult.

BBBZ kódex

A tengeralattjárók építési költsége a korábban felsorolt nehézségek és különlegességek miatt többszöröse egy megfelelő felszíni hajónak.

A következő táblázat a jelenleg ismert kereskedelmi tengeralattjárókat foglalja össze.

Név	Merülési mélység, m	Hossz, m	Szélesség, m	Magasság, m	Vízkiszorítás , t	Legénység, fő
Nagy mélységbe merülő, személyzettel ellátott tengeralattjárók						
Sea Cliff	6.000	7,9	3,6	3,6	24,0	3
Aluminaut	4.600	15,4	3,0	5,0	67,6	6
Alvin	4.000	7,6	2,4	3,9	16,7	3
Sea Turtle	3.000	7,9	3,6	3,6	24,0	3
Cyana	3.000	5,7	3,0	2,1	8,5	3
Deep Quest	2.440	12,2	5,8	4,0	52,0	4
Shinkai 2000	2.000	9,3	3,0	2,9	25,0	3
Személyzet nélküli tengeralattjárók						
CURV III	6.700	3,05	2,13	2,13	4,90	vezetékes
AUSS	6.000	5,20	1,27	1,27	1,27	vezeték nélküli
Argo	6.000	4,80	1,00	1,18	1,59	vezetékes
Angus	4.000	4,27	1,83	1,52	2,45	vezetékes
SAR	4.000	4,57	1,22	1,22	3,63	vezetékes
SBT	1.400	4,00	2,80	3,00	8,00	vezetékes