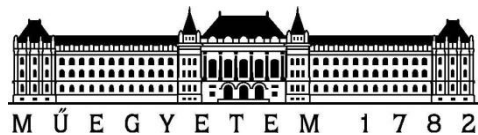


# HAJÓÉPÍTÉS II.

A projekt címe: „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés”

A megvalósítás érdekében létrehozott konzorcium résztvevői:



[KECSKEMÉTI FŐISKOLA](#)

[BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM](#)

[AIPA ALFÖLDI IPARFEJLESZTÉSI NONPROFIT KÖZHASZNÚ KFT.](#)

Fővállalkozó: [TELVICE KFT.](#)



Szerkesztette:

**SIMONGÁTI GYŐZŐ**

Írta:

**HARGITAI L. CSABA  
SIMONGÁTI GYŐZŐ**

Lektorálta:

**HADHÁZI DÁNIEL**

Rajzolók:

**HARGITAI L. CSABA  
SIMONGÁTI GYŐZŐ**

# **HAJÓÉPÍTÉS II.**

**Egyetemi tananyag**

COPYRIGHT: © 2012-2017, Hargitai L. Csaba, Dr. Simongáti Győző, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

LEKTORÁLTA: Hadházi Dániel

Creative Commons NonCommercial-NoDerivs 3.0 (CC BY-NC-ND 3.0)  
A szerző nevének feltüntetése mellett nem kereskedelmi céllal szabadon másolható, terjeszthető, megjelentethető és előadható, de nem módosítható.

ISBN 978-963-279-618-5

KÉSZÜLT: a [Tydotex Kiadó](http://www.tydotex.hu) gondozásában

FELELŐS VEZETŐ: Votisky Zsuzsa

TÁMOGATÁS:

Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
www.ujszachenyiterv.gov.hu  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

KULCSSZAVAK:

Hajógyártás folyamata, hajógyárak felépítése, rajzpadlás, hajóépítés gyártástechnológiája, sólyatér, szekciós építés, vízrebocsátás, kishajóépítés, kishajók alapanyagai, fahajó-építés.

ÖSSZEFOGLALÁS:

A Hajóépítés II. jegyzet két fő részre oszlik, a tengeri és belvízi, acélszerkezetű hajók építésére, illetve a kedvtelési célú kishajók építésére. Foglalkozik a hajógyártás alapanyagaival, ezen belül a fából készült hajók építésének technológiájával.

A jegyzet első része az acélszerkezetű nagyhajókról szól. A hajógyártás előkészületével kezdődik, melyben a műszaki előkészítésről, a hajógyártás folyamatáról, a hajógyárak felépítéséről, a rajzpadlásról és a raktározásról esik szó. Ez után bemutatja a hajók alkatrészgyártásának technológiai műveleteit, általánosan leírva a jellemzően alkalmazott gyártástechnológiai módszereket.

A továbbiakban taglalja a jellemző hajótest összeépítési módszereket, a vízrebocsátási fajtákat, és a vízi szerelést.

A jegyzet második része a kishajók építéséhez felhasználható különböző alapanyagok és azok tulajdonságainak (fa, fém, kompozit-gyanták és szálanyagok) bemutatásával kezdődik. Majd a fa hajók különböző építési technikáiról (hagyományos palánkos építés, furnér-rétegeléses eljárás, rétegtlemezés építés, szendvicsszerkezetű hajó építése, sorozathajó építése, vákuum- és infúziós eljárások) esik szó. A többi kishajó építési alapanyagnál alkalmazott gyártástechnológiai módszereket a jegyzet nem tartalmazza, mert ezzel Dr. Simongáti Győző Kishajók című jegyzete foglalkozik.



## Tartalomjegyzék

Előszó .....	7
I. rész – Nagyhajók építése.....	8
1. A hajógyártás előkészítése.....	8
1.1 A hajógyártás jellemző tulajdonságai .....	8
1.2 A hajógyártás műszaki előkészítése .....	9
1.3 A hajógyártás folyamata .....	11
1.3.1 Előgyártás műhelyekben és a szerelőpadokon .....	11
1.3.2 Sólyatéri szerelés .....	12
1.3.3 Vízi szerelés partfalnál .....	12
1.4 A hajógyárak felépítése .....	13
1.5 Rajzpadlás, rajzpadlási munkák.....	15
1.5.1 A klasszikus rajzpadlás.....	16
1.5.2 A rajzpadlás fejlődése.....	19
1.5.3 Számítógépes rajzpadlási feladatok.....	20
1.6 Raktározás.....	22
2. Alkatrészgyártás a hajóépítésben.....	26
2.1 Egyengetés .....	27
2.2 Felülettisztítás .....	28
2.2.1 A felület minősége.....	28
2.2.2 Oxidmentesítés mechanikai módszerei a hajógyártásban .....	30
2.2.3 Oxidmentesítés vegyi módszerrel.....	33
2.2.4 Zsírtalanítás .....	33
2.3 Festés .....	33
2.3.1 A hajók bevonatrendszerének felépítése .....	34
2.3.2 Festékbevonatok kivitelezése .....	35
2.4 Az alkatrészek jelölése .....	36
2.5 Darabolás és vágás.....	37
2.5.1 Mechanikus vágás .....	37
2.5.2 Termikus vágás.....	40
2.5.3 Vízugaras vágás .....	43
2.6 Hajlítás és domborítás.....	43
2.6.1 Lemezhajlítás.....	44
2.6.2 Lemezdomborítás .....	47
2.6.3 Profilok hajlítása.....	49
2.7 Hegesztés .....	52
2.7.1 Hegesztési eljárások .....	52
2.7.2 Hegesztési technológia .....	60
2.7.3 A hegesztési varratok ellenőrzése.....	62
2.8 Összetett alkatrészek gyártása .....	65
2.8.1 Lemeztáblák gyártása .....	65
2.8.2 Tartók összeállítása.....	66
3. A hajótest összeépítése .....	67
3.1 Hagyományos sólyatéri szerelés.....	67
3.2 Szekciós hajógyártás.....	69
3.2.1 Síkszekciók gyártása.....	69
3.2.2 Térszekciók gyártása .....	72

3.2.3 Hajótest összeépítése szekciókból.....	76
3.3 Tengelyfektetés.....	78
4. Vízrebocsátás, vízi szerelés .....	82
4.1 Vízrebocsátás.....	82
4.1.1 A vízrebocsátás előkészítése .....	82
4.1.2 A vízrebocsátás különféle módszerei .....	85
4.2 Vízi szerelés.....	91
4.2.1 Szerelés.....	91
4.2.2 Próbák.....	92
4.2.3 Átadás előtti műveletek .....	93
II. rész – Kishajók építése .....	94
Bevezető .....	94
5. A kishajók alapanyagai.....	96
5.1 Faanyagok.....	96
5.2 Fémek .....	99
5.2.1 Acél .....	99
5.2.2 Alumínium .....	99
5.3 Szerkezeti műanyagok.....	100
6. Fahajók építése .....	102
6.1 Hagyományos palánkos külháj építése.....	102
6.2 Lécezett külháj készítése .....	110
6.3 Külháj készítése furnérból.....	112
6.4 Külháj készítése rétegelt lemezből .....	118
6.5 Fedélzet készítése .....	122
7. Ábrajegyzék.....	125
8. Irodalomjegyzék .....	131

# ELŐSZÓ

A hajógyártás azon módszerek, eljárások, munkafolyamatok, valamint eszközök összessége, melyekkel a rendelkezésre álló nyers-, illetve alapanyagokból, a használati és szabályozási követelményeknek legjobban megfelelő struktúrában és műszaki kivitelben a hajók és egyéb úszóművek elkészülnek.

A hajógyártás folyamata egy közös, csapatmunka, mely a tervezési, valamint a kivitelezési munkákból áll össze. E két fázis elválaszthatatlan egymástól, ezért a gyártásban részt vevő bármely dolgozónak – a munkakörtől függő mélységben – tisztában kell lennie a hajóépítési folyamat egyes fázisaival. A BME Közlekedés-, és Járműmérnöki Kar Járműmérnök B.Sc. képzésében az oktatási cél, hogy a végzett hallgatók hasznos tagjai lehessenek a hajógyártás folyamatának, illetve előképzettséget szerezzenek a további tanulmányaikhoz, mely során hajótervező mérnökké válhatnak.

A Hajóépítés I. című tantárgy elsősorban a hajószerkezettannal foglalkozik, mely a hajók és egyéb úszóművek szerkezeti felépítését és az egyes elemek méretezését ismerteti. A Hajóépítés II. című tantárgy pedig a hajótest-szerkezetek ismeretét feltételezve, a hajók és egyéb úszóművek alapvető gyártástechnológiai ismereteit kívánja átadni.

A képzés hosszú távú célja a hajótervező mérnökök képzése, és a hajógyártás technológiai része gyártástechnológus mérnököt vagy mérnököket igényel, a Hajóépítés II. című jegyzet nem merül bele a szerteágazó technológiai részletekbe, hanem inkább átfogó képet próbál nyújtani a hajóépítés technológiai rendszerébe, és a hajók minden más közlekedési eszköztől eltérő gyártási folyamatába.

A jegyzet írásakor szükségesnek láttuk különválasztani a kedvtelési célú, ún. „kishajók” és a „nagyhajók” gyártástechnológiáját. Ennek legfőbb oka, hogy amíg a „kishajók” jellemzően műanyagból vagy fából (illetve ezek kombinációjából) épülnek, addig a „nagyhajók” fémből, legtöbb esetben acélból készülnek. Ezen kívül a termékek méreteiből is jelentős gyártástechnológiai és gyártásszervezési különbségek fakadnak. Az alapvető gyártástechnológiai különbségek miatt célszerűbbnek találtuk a „kishajó” és „nagyhajó” építést külön kezelni.

*A Szerzők*

# I. RÉSZ – NAGYHAJÓK ÉPÍTÉSE

A következő fejezetekben tárgyalt hajók a legnagyobb fémipari gyártmányok közé tartoznak, ezért a gyárak és az alkalmazott technológiák speciálisak, jelentősen eltérnek az egyéb járműgyártástól.

## 1. A HAJÓGYÁRTÁS ELŐKÉSZÍTÉSE

### 1.1 A hajógyártás jellemző tulajdonságai

A hajógyártás előkészítésénél figyelembe kell venni a termékek és a gyártási technológiai sajátosságait.

A legfőbb jellemző, hogy a hajók mind térfogat és tömeg tekintetében *nagyméretű termékek*, így a gyártás *egyedi, legfeljebb kis sorozat* jellegű. Jóllehet a hajógyárak törekszenek típustermékek előállítására (gyorsabb, olcsóbb gyártás), mégis jellemző, hogy egy hajógyár egyszerre csak néhány úszómű építését végzi egyszerre.

Az *előgyártásban* – a többi közlekedési eszköz sorozatgyártásához képest – csak korlátozott mértékig lehet előkészíteni a végszerelést. Azon hajógyárak, amelyek egyedi építéssel, évente (mérettől függően) egy-két hajó előállításával foglalkoznak, csak egy pár objektumot tudnak sorozat jellegű előgyártással előkészíteni. Ugyanis kevés ismétlődő elem esetén a sorozatgyártás jellegű technologizálás nem térülne meg. Azok a gyárak, ahol egy bizonyos hajó (vagy legfeljebb néhány típus) gyártását végzik, a lehetőségeikhez mérten (pl. darukapacitás, csarnokméret, sólyapálya paraméterei stb.) törekszenek a minél nagyobb mértékű szerszámozásra és készülékezésre. Persze a nagyméretű termékeknel, mint például a hajók, a sablonok, készülékek és speciális szerszámok gyártását gondos gazdasági számításoknak kell megelőzniük.

A hajógyárakban jellemzően *összeszerelő jellegű munka* folyik, amely más közlekedési eszközök előállításához képest relatív sok élő munkát igényel. A gépi munka aránya persze függ a hajógyár technológiai színvonalától, a gyártmány méreteitől, illetve hogy egyedi vagy széria hajókat állítanak elő. Jellemzően még az előgyártás (pl. szekciógyártás) jó része is emberimunka-igényes.

Az összeszerelő jellegű munkából fakad, hogy a hajógyárak *sok beszállítóval* dolgoznak, ami komoly logisztikai és minőségbiztosítási (ellenőrzési) feladatokkal jár. Régen a gyárak a hajó minden egyes alkatrészét a kapukon belül, külön üzemekben állították elő, mivel a beszállítandó termékek speciális jellemzői (pl. méret) miatt nem lehetett (megbízható) gyártót találni, vagy az áruszállítás nehézségei akadályozták volna a hajógyártási folyamatot. Mára azonban az új hajók építésével foglalkozó hajógyárak az acélszerkezeti alkatrészgyártáson kívül szinte minden alkatrészt és gépet beszállítóktól hoznak be a gyár területére. Csak néhány hajógyár és hajójavítással is foglalkozó üzem őrzött meg gépeket (pl. keresztfejes diesel főgépeket gyártó gyáregység) és egyéb alkatrészeket (pl. hajócsavar öntöde) előállító termelési egységeket.

A nagyméretű termék előállítása miatt a *gyártás átfutási ideje hosszú*, hajómérettől és a gyár technológiai szintjétől függően pár hónaptól egy évig is terjedhet. Ezért minden egyes hajó gyártását gondosan elő kell készíteni, ütemezni kell a folyamatot.

Az elhúzódó gyártás miatt a gyártás korszerűsítése, új technológiák bevezetése lassú, alapos gazdasági előkészítést és megtérülési számítást igényel. Például a hajótest-szerkezet építésénél a szegecseles technológiáját kb. 10-15 év alatt váltotta fel a hegesztés.

## 1.2 A hajógyártás műszaki előkészítése

A hajógyártás műszaki előkészítésének szintje különböző az egyes hajógyárakban és az egyes hajóknál.

A *termék mérete* alapvetően meghatározza a szükséges előkészítési munkákat, hiszen minél nagyobb hajóról van szó, annál részletesebben meg kell tervezni a gyártás és annak ütemezését.

A hajó mérete azonban nem különálló előkészítési szintet meghatározó paraméter, ugyanis a gyártástervezés a hajógyár *technológiai fejlettségétől* is függ. Ugyanis ha a gyár a műhelyek, darukapacitás, anyagmegmunkálás, sólyatér stb. területén egy adott méretű hajó gyártására jól be van rendezkedve, azonos technológiával épülő kisebb gyártmányokat kevesebb előkészítéssel is elő tud állítani. Azonban még a kisebb méretű hajók is igényelhetnek bonyolultabb előkészítést, ha a gyár nem rendelkezik megmunkálási (pl. könnyűfém szerkezetű fedélzeti ház) vagy egyéb technológiai (pl. személyhajók belső berendezése) kapacitással és gyakorlattal. Meghatározzák az előkészítést még a rendelkezésre álló gyártó gépek is (pl. a gyár sólyaterének daru kapacitása és az építőpadok mérete megszabja az előgyártásban építhető legnagyobb térszekció méretét).

A hajógyártás műszaki előkészítési feladatait meghatározza a készítendő termékek *darabszáma*. Egyedi építésű hajóknál (vagy hajójavításnál) viszonylag kevés készüléket és automatizált gépsort használnak a hajótest-szerkezet gyártásához, azonban nagyobb darabszám esetén már megéri az ismétlődő alkatrészekhez gyártó gépsorba, illetve a bonyolultabb test-formákhoz készülékekbe, sablonokba beruházni.

A hajógyártásnál a műszaki előkészítés feladatait négy területre lehet osztani:

- műszaki feltételek biztosítása
- anyagi feltételek biztosítása
- személyi feltételek biztosítása
- ügyviteli feltételek biztosítása

A *műszaki feltételek biztosítása* a hajógyárban már az *árajánlat* készítésnél kezdődik. A gyár szakembereinek ekkor ugyanis a rendelkezésre álló technológia ismeretében előre meg kell becsülniük a szükséges további fejlesztéseket, módosításokat, eszközbeszerzéseket, gyártási időt, hozzávetőleges anyagszükségletet stb.

A szerződéskötés után a gyár technológusainak *gyártmánytervezési és szerkesztési* feladatuk van, hiszen a hajógyárak készítik el a technológiájukhoz és adminisztrációs rendszerükhöz illeszkedő részletes dokumentációt (műhelyrajzok, műszaki utasítások stb.). Meg kell jegyezni azonban, hogy amennyiben a hajótervező iroda szoros kapcsolatban van a hajógyárral, a gyártmánytervezés és szerkesztés egy részét (pl. műhelyrajzok, összeszerelési ábrák stb.) már a tervező irodában elkészítik a gyár számára.

Fontos feladata a technológusoknak a *gyártás tervezése és szervezése*. Ennek célja, hogy a rendelkezésre álló erőforrásokat (munkaerő, gép, műhely, építő padok, sólyapálya stb.) optimálisan kihasználva, a lehető leggazdaságosabb gyártással, a szerződésben meghatározott ütemben és minőségben hozzák létre a terméket, azaz készítsék el a hajót.

Sok esetben a hajó (gazdaságos) gyártásához új készülékekre, a meglévő berendezések felújítására vagy átalakítására lehet szükség, azaz *gyártó eszközök tervezésére és elkészítésére* van szükség. A gyártástechnológusoknak e feladatokat úgy kell megvalósítaniuk, hogy az építés folyamatossága biztosítva legyen.

A hajógyártás műszaki feltételeinél az *anyagfeltételek biztosítása* nem a pénzügyi háttér megteremtését jelenti, jóllehet finansiális vonatkozásai is vannak a feladatnak. A hajógyártás anyagi feltételeinek biztosításán műszaki szempontból elsősorban a *nyers-, és alapanyag ellátást illetve gazdálkodást* értjük. A hajógyárak általában nem rendelkeznek akkora forgótökével, hogy a leszerződött munkák mindegyikéhez azonnal beszerezzék az alapanyagokat. Ez a raktározás (nagy mennyiség raktározása), a gyártás (nem tudja feldolgozni a nyersanyagot, puffer tárolók megtelnek), és a gazdálkodás (cash-flow problémák) tekintetében sem előnyös. A másik véglet, amikor a gyár csak a napi alapanyag mennyiséggel rendelkezik, csak nagyon megbízható, és stabil beszállítói háttérrel valósítható meg (pl. néhány japán gyár „just in time” rendszerű gyártása). A hajógyárak – forgótökéjük mértékétől függően – csak kisebb-nagyobb mennyiségű alapanyagot raktároznak. Ezzel lehetőségük nyílik a nyersanyagpiac változó árai mellett a legkedvezőbb áron beszerezni az alapanyagokat (a hajó gyártási periódusán belül). Illetve biztosítani tudják a hajóépítés, és az alapanyag-előkészítő üzem munkájának folyamatosságát.

Szintén fontos anyagi feltétel a *szerszám ellátás és gazdálkodás*. Itt egyrésről az alapanyaghoz hasonlóan a fogyó szerszámok (pl. hegesztőpálca, csiszolókorong stb.) gazdálkodásáról van szó, de beleértjük a készülékek felújítását és új eszközök beszerzést is.

A hajógyártásnál műszaki szempontból különösen fontos a személyi feltételek megfelelő biztosítása. Mivel a hajógyártásnak a mai napig nagy az élőmunka igénye, és a gyártási volumen (termékek mérete) miatt nagy létszámú termelő egységekről van szó, *a gyár működtetéséhez szükséges megfelelő személyi összetétel*, illetve ennek meghatározása a gazdaságos működés alapfeltétele.

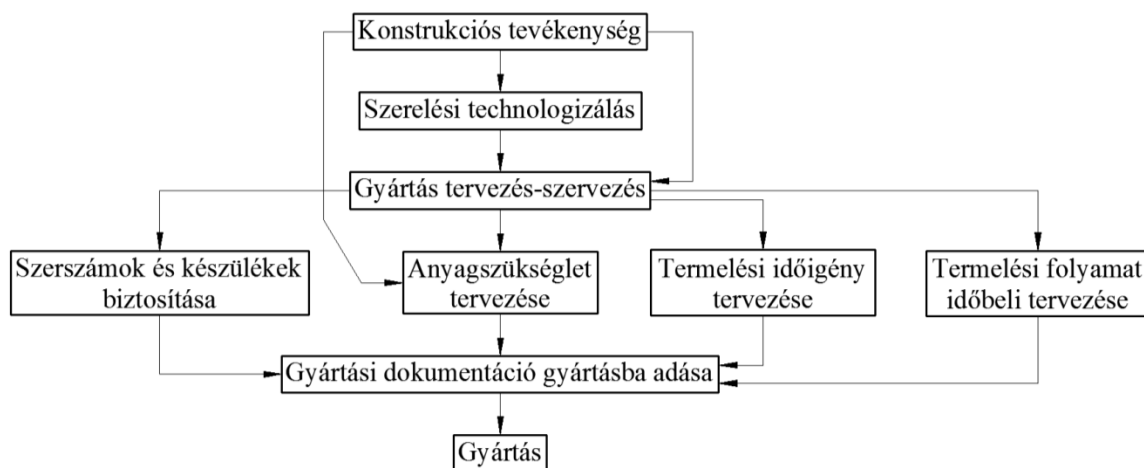
Azonban nem csupán az egyes gyártó egységek megfelelő létszámát kell biztosítani, hanem az adott területhez szükséges szaktudásra és gyakorlatra is oda kell figyelni. Gondoskodni kell továbbá a *szakemberek utánpótlásáról, továbbképzéséről, és az előírásoknak megfelelő rendszeres vizsgáztatásról* is.

*Ügyviteli feltételek biztosításának* nevezzük azon, elsősorban adminisztrációs jellegű tevékenységet, melyekkel a hajógyártás folyamatát irányítani lehet. Ebbe bele tartozik a *gyártáshoz szükséges dokumentáció* elkészítése, mely nem csak a műszaki rajzokat és kivitelezési utasításokat, hanem a hajótulajdonos, a hatóságok, és az osztályozó társaság felé történő dokumentálást is jelenti.

Főleg a nagy hajók gyártásánál jelentős, de a kisebb úszóművek építési hatékonyságát is növeli a hajógyáron belüli *belső számrendszerek és szabványok* kidolgozása és használata.

A hajóépítés során sok, különálló gyártó egység (műhelyek, gyáregységek stb.) és beszállító együttműködésére van szükség, ezért a pontosan ütemezett és nyomon követhető gyártáshoz elengedhetetlen a belső és külső *elszámoltatási rendszer* alkalmazása is.

Végül az ügyviteli feltételek biztosításához lehet sorolni a *műszaki előkészítés szervezését és programozását* is.



Forrás: Visi István, A hajógyártás technológiája

1.1. ábra: A műszaki előkészítés blokkvázlata

### 1.3 A hajógyártás folyamata

A hajógyártás folyamatát térben és időben három szakaszra lehet bontani: Előgyártás a műhelyekben és szerelőpadokon; Súlytér szerelés; Vízi szerelés a szerelőpartfalnál.

#### 1.3.1 Előgyártás műhelyekben és a szerelőpadokon

A hajógyártás folyamata az alap- és nyersanyagok előkészítésével, illetve alapvető feldolgozásával kezdődik. Ez utóbbi mértéke a hajógyár szerkezetétől és felszereltségétől, illetve a hajó méretétől függően a hajótest-szerkezet alkatrészeinek legyártásától a testszekciók (esetleg a teljes hajótest) összeépítéséig terjed.

A hajóépítés első fázisa műhelyekben, építő csarnokokban, illetve a súlytérhez közeli építőpadokon történik. A műhelyekben és csarnokokban lehet a munkavégzéshez legideálisabb körülményeket biztosítani, hiszen ezek fedett, fűtött épületek, a gyártáshoz optimalizált infrastruktúrával (daruk, világítás, elektromos-, gáz-, és vízvezeték rendszer stb.). A gyár területén kiépített (lehetőleg a súlytérhez közeli) építőpadokat is ellátják az építési infrastruktúra elemeivel (a lehetőségekhez mérten). Azonban a munkakörülmények nem olyan ilyen ideálisak, mint a műhelyekben, hiszen általában szabadtéri, legfeljebb féltetővel fedett helyek.

Az előgyártás a hajóépítés legtermelékenyebb szakasza, mivel a gyártás feltételei (munkakörülmények) itt a legideálisabbak, illetve ebben a fázisban lehet a legtöbb tevékenységet automatizálni. Ezért a hajógyárak törekednek a lehető legtöbb munkát a műhelyekbe és csarnokokba szervezni, így az alapanyag előkészítésen és alkatrészgyártáson kívül a lemeztáblák, síkszekciók, kisebb térszekciók összeépítését is itt végzik. A testszekciókat illetve a teljes hajótestet is csarnokban építik, amennyiben annak méretei, darukapacitása stb. megengedi, és az összeépített hajótest-szerkezet súlytérre történő szállítása is megoldható.

A hajó építésében részt vevő minden szakma műhelyekben készíti elő tevékenységét, s a kapacitásbővítés érdekében szükség szerint akár három műszakba is lehet szervezni a munkát.



### 1.3.2 Súlyatéri szerelés

Kizárólag a hajóépítésre jellemző gyártástechnológiai szakasz a súlyatéri szerelés.

A vízparton kiépített szerelőtéren (súlyatér) készítik el az úszóképes hajótestet, vagy (a hajó méretétől és a gyártástechnológia színvonalától függően) a kész hajót. A speciális szerelőteret a nagy méretű (tömegű) termék(ek) miatt szükséges a vízpartra telepíteni úgy, hogy az elkészült úszótest (vagy komplett úszómű) vízrebocsátása is biztosítva legyen. Ezért a súlyatér felszereltségét tekintve nem egyszerűen egy szabadtéri szerelőműhely, amelynél világítás, a hegesztéshez és a szerelő szerszámokhoz szükséges sűrített levegő, gáz, és elektromos infrastruktúra ki van építve, hanem a gyár lehetőségeihez mérten komoly darukapacitással (mind teheremelés, mind darabszám tekintetében), valamint a vízrebocsátáshoz szükséges technológiai eszközökkel (pl.: súlyapálya, súly kocsik, csörlők stb.) is fel van szerelve.

Általában a súlyatér a hajógyár kapacitásának szűk keresztmetszete, ezért célszerű minél magasabb felszereltségi szintre hozni (világítás, energia hálózat, egyéb infrastruktúra, emelő berendezések stb.), hogy a szerelési munkákat gyorsan el lehessen végezni.

Szintén jellemző a súlyatérre, hogy a rezsiköltsége a legmagasabb, így a hajógyarak igyekeznek minél több szerelési fázist a műhelyekbe, vagy szerelőpadokra átcsoportosítani. Ennek a korlátja általában a súlyatéri darukapacitás szokott lenni.

A súlyatér adottságai és annak vízrebocsátási technológiája a hajógyár meghatározó jellemzője, ezért a legyártható úszóműveknél, a gyarak elrendezésénél és a gyártás szervezésénél meghatározó jelentősége van. Fejlesztése és kapacitás bővítése igen költséges beruházás, amit alapos gazdasági/gazdaságossági számításoknak kell megelőznie.

A súlyatér kialakításától és felszereltségétől függően a munkát akár három műszakba is lehet szervezni. Érdemes azonban a nehéz terhek beemelését, a veszélyes vagy kényes műveleteket és a vízrebocsátást az első műszakra (általában 6:00-14:00) műszakra szervezni, míg a második és harmadik műszakban az általános hegesztési és felületkezelési feladatokat végzik.

A súlyán veszi át az úszóművet (vagy annak úszótest részét) a vevő és a regiszter, melynek során a víz alatti részekben különböző próbákat végeznek. Végül a hajó „születése”, a vízrebocsátás is a súlyatéren történik. Amennyiben a hajógyár súlyatere alkalmas az úszóművek kiemelésére is (kisúlyázás), az úszóművek kötelező parti szemléit is itt végzik.

### 1.3.3 Vízi szerelés partfalnál

A vízrebocsátás után a hajó készre szerelését a hajógyarak szerelőpartfal mellett végzik. Kivéve a száraz-, vagy úszódokkal rendelkezők, azonban a dokk(ok) kapacitásnövelésének érdekében ezek a gyarak is rendelkeznek szerelőpartfallal.

A hajógyár technológiai fejlettségétől függően a szerelőpartfali hajóépítés során telepítik a hajóba a fő-, és segédgépeket, a fedélzeti berendezéseket (horgonyberendezés, kötélcsörlők, csatoló berendezések, raktértetők, rakodó berendezések stb.), illetve a lakóterek, raktárak berendezései itt kerülnek beépítésre. Ezen kívül itt történik a gépek beállítása, a cső-, erőátviteli- és elektromos rendszerek kiépítése, a belső terek, fedélzeti felépítmények stb. végszerelése és a végleges felületkialakítás (pl. festés). Jóllehet a hajógyarak a legtöbb munkát igyekeznek a gyártás korábbi, a munkakörülmények szempontjából kedvezőbb szakaszaiba (műhelyek, súlyatér) szervezni, ez azonban sokszor nem lehetséges.





1.2. ábra: Kotróhajó szerelőpartfalnál az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)

Sokféle szakma dolgozik egyszerre a hajón, ezért a munkaszervezés és előkészítés kiemelten fontos. A három műszakos munkarend megszervezése itt a legnehezebb, ugyanis a tevékenységek összehangolásán kívül problémát jelent a mobil gyártási infrastruktúra (világítás, elektromos energia-, gáz- és sűrített levegő-ellátás stb.) kiépítése is.

Vízi szerelés közben adják át a lakó-, raktár- stb. tereket, valamint az egyes rendszerek szerelésének végén az üzemképességet állópróbákkal bizonyítják. A kész hajó végső próbáit a futópróba során végzik el.

#### 1.4 A hajógyárak felépítése

A hajógyárak felépítésének tervezése nagy kihívások elé állítja az építészeket. Ugyanis az egész gyárterület elrendezését, valamint az egyes épületek külső és belső felépítését a termék, a gyártástechnológia és a termék előállítási folyamat határozza meg. A gyár tervezésénél mindig igénybe kell venni gazdasági, üzemszervezési és gyártástechnológus szakembereket is. A hajógyár felépítésénél szerepet játszó alapvető szempontok a következők:

- Az építendő hajók mérete (hossz, szélesség, magasság, tömeg)
- A gyártási folyamat tervezett éves termelése
- A szükséges és megkívánt anyagmozgató berendezések
- Infrastrukturális kapcsolatok (az alapanyag beszállítási útvonalak vízen, közúton és vasúton, valamint a késztermék elszállításának útvonala)

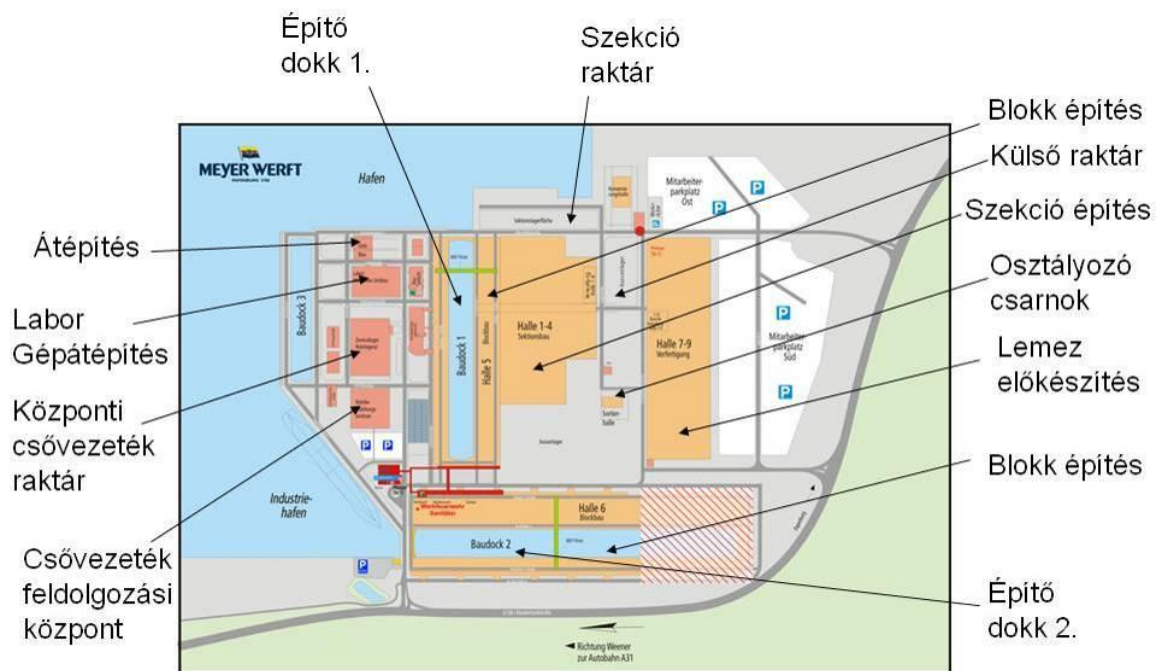
- A gyár megmunkálási technológiája, és a gyártás folyamatai (például alapvető különbségek lépnek fel csak összeszerelést végző, illetve saját részegységeket/felszerelési tárgyakat is gyártó hajógyáraknál)
- A legnagyobb összeállítandó és mozgatandó részegységek mérete és tömege a beszállítási útvonalaknál, műhelyekben, raktárakban, a sólyatéren és a szerelőpartfalnál
- Az alkalmazni kívánt gyártásfelügyeleti, gyártásszervezési és minőségbiztosítási rendszer követelményei (például a hajógyár saját anyagvizsgáló labort tart-e fenn a gyártmányellenőrzéshez, vagy külső vállalkozókkal oldja meg e feladatot)
- A gyártás adminisztrációs apparátusa (például a gyár végez-e hajótervezést)

Zöldmezős beruházként csak ritkán épülnek hajógyárak, legtöbbször egy működő gyárat kell modernizálni vagy átépíteni. Ez különösen nehezzé és hosszadalmassá teszi az átépítési folyamatot, mivel az átalakítás alatt a gyártás nem állhat le, sőt az átépítés vagy technológiaváltás nem lassíthatja a termelést.

Az átépítés igénye minden hajógyárnál felmerül. Ennek okai lehetnek:

- Nagyobb méretű hajók építésének igénye
- Termékváltás
- Technológiaváltás
- A gyártás gazdaságosságának fokozása
- Kapacitásbővítés rövidebb termékátfutási ciklus biztosításával
- Felújítás, mely sokszor együtt jár a technológiaváltással és kapacitásbővítéssel is
- Egyenletesebb munkaelosztás biztosítása
- A gyártási szűk keresztmetszetek kiküszöbölése
- Az egyes gyártási műveletek közti anyagáramlás megkönnyítése (például a műhelyeken belüli gépelrendezés megváltoztatása)

Az ideális hajógyárnál a telep a vízparttól a szárazföld felé terjeszkedik. E felépítés egyben a termék előállításának iránya is, mivel a parttól távoli részeken érkezik be az alapanyag, s itt helyezkednek el a raktárak. A raktárak és a part között lévő műhelyekben a gyártmány mérete a víz felé haladva egyre nagyobb, s a hajó közvetlenül a vízparti sólyatéren (vagy már a szárazdokkban) kerül összeállításra. A sólyatéri vízrebocsátás után a gyártmány a szerelőpartfalhoz kerül. E felépítés esetén a hajógyár fejlődése során fellépő növekvő területigény a parttal párhuzamos terjeszkedéssel a meglévő gyártási folyamat megzavarása nélkül biztosítható. A terjeszkedés gátját jelentheti azonban a városok növekedése, mely a vízparti területekre és a gazdasági gócpontokra (pl. a hajógyár) különösen jellemző.



Forrás: Domány Á., A papenburgi hajógyár bemutatása

1.3. ábra: A Meyer Hajógyár felépítése (Papenburg, Németország)

A folyami hajógyárak általában valamilyen (mesterséges vagy természetes) öbölben, vagy nyugodt vizű folyószakaszokon (holtág, mellékág stb.) épülnek. Jellemzőjük még, hogy felépítésük inkább a folyópartot követi, azaz a sólytér, műhelyek, raktárak és az infrastrukturális kapcsolatok is a part közelében találhatóak. Ez akadálya lehet a későbbi fejlődésnek, akár a korábban említett átépítéseknel, vagy a területi terjeszkedésnél. Folyami hajógyárak létrehozásakor tehát különösen nagy gondot kell fordítani a hosszú távú termelési stratégia kidolgozására.



1.4. ábra: Az SLKB hajógyár (Révkomárom, Szlovákia)

### 1.5 Rajzpadlás, rajzpadlási munkák

A gyártási dokumentációt a hajógyárak saját technológiai tervező részlegeiken, vagy külső (speciálisan a technológiai tervezésre szakosodott) tervezőirodákban készítik. A mai számítástechnikai eszközökkel ezek a dokumentációk gyártási pontosságú tervrajzokat szolgáltatnak, sőt a CAM rendszereken keresztül közvetlenül a gyártó gépek vezérlő programjait tartalmazzák. Nagyon kevés hajógyár van azonban, amely gyártás közben nélkülözheti az 1:1 méretarányú, térben görbülő alkatrészek gyártási pontosságú sablonjait. E gyártási

segédeszközöket kizárólag a hajógyártásra jellemző, speciális műhelyben, az ún. rajzpadláson készítik.

### 1.5.1 A klasszikus rajzpadlás

A számítástechnikai fejlődés révén a rajzpadlások szerepe, felszereltsége és kialakítása sokat változott, azonban a klasszikus rajzpadlási feladatok nem tűntek el. Éppen ezért a hajómérnököknek ismerniük kell a klasszikus rajzpadlás szerepét, jellemzőit és feladatait. A klasszikus rajzpadlás feladatai a következők voltak:

- A vonaltervek felrajzolása 1:1 méretarányban, és azok kiegyenlítése. (Kulcs fontosságú művelet volt a pontos hajógyártás érdekében, hiszen a rajztáblán készült vonalterv méretaránya miatt már a vonalvastagság is centiméteres hibákat okozhatott.)
- Fedélzeti domborulatok, hajlatok megszerkesztése, szerkezeti elemek feltüntetése a vonalrajzon.
- Alkatrészek valóságos méretének (pl.: kifejtett hosszának, felületének), alakjának meghatározása és ezek megadása a következő készülékekkel.
- Méretlécek
- Síkba fejtett lemezek rácssablonjai
- Síksablonok (pl.: fenékmerevítők, bordatalpak, oldal-hossz merevítők, fedélzeti gerendák, válaszfal lemezek, gépalapok stb.)
- Hajlítási sablonok (bordaívveltség, szögelhajlítás, lemezívelés)
- Térbeli alakmások (koporsó és rács sablonok a nagyon ívelt, görbített lemezekről, orr- és fartőkéről, hajócsavar alagútról stb.)
- Az alkatrészek, szekciók, konduktorok és a hajótest szereléséhez, valamint ellenőrzéséhez szükséges méretek megadása, illetve az ehhez szükséges mérőlécek, sablonok elkészítése.
- Fél modell készítése a hajótestről, melyen a szerkesztési iroda elkészíthette a pontos lemeztervet, s a pontos anyag specifikációt.
- Modellkészítés a horgonytáska, horgonycső és horgonycsőrlő elhelyezéséről.
- Modellkészítés a kikötőcsőrők és kötélterelők elhelyezéséről.
- Modellkészítés a bonyolult (ezért az általános terveken nem részletezett) erősen görbült felületű részekről (pl. hajócsavar-alagút, bulbaorr stb.)
- Mércék és sablonok készítése a hajócsavar- és a kormánytengely pontos helyének meghatározásához.
- Merülési mércék alappontjának kijelölése és a mércék felfestése
- A vízvonal bejelölése a kész hajótesten.

Látható a rajzpadlás feladataiból, hogy a nagyméretű rajz és egyéb eszközökkel való munka és az 1:1 méretarányú sablonkészítés inkább egy műhely jellegű helyiséget igényel, semmint egy irodát.



A munkaterülettel szemben támasztott alapvető követelmény, hogy nagy alapterülettel rendelkezzen, hiszen a vonalterv 1:1 méretarányú kiegyenlítése a padlóra rajzolt vonalterven történik. A klasszikus rajzpadlások alapterülete lehetőség szerint a gyártmány fő méreteinél (hossz és szélesség) kissé nagyobb, de legalábbis az egybe rajzolt valóságos méretű borda-, vízvonala-, és hosszmetsetek területi igényének megfelelő. További követelmény, hogy a rajzterületet (padló síkja) ne szakítsák meg oszlopok vagy az épület szerkezeti elemei. A nagyméretű rajzeszközök és sablon elemek miatt a műhely belmagassága legalább 3,5m. A rajzpadlás e speciális területi igényei miatt általában a gyártócsarnok vagy más nagy alapterületű épület (pl. irodaház) padlásterében kap helyet.

Nagyon fontos a rajzpadlás kialakításánál, hogy a padló vízszintes és hullámmentes legyen, azaz a rajztér egy vízszintes síkot alkosson. Az építőipari pontosság nem megfelelő a rajzpadlás számára, ezért a padlót általában résmentesen illesztett gyalult deszkákból építik, melyet minden egyes vonalterv felrajzolása előtt síkba csiszolnak és táblafestékekkel lefestenek. Kisebb méretű rajzpadlásoknál (pl. ha csak a bordametszetek felrajzolása a feladat) speciális betonozási technológiával biztosítható a vízszintes és hullámmentes aljzat, melyre sötét színű linóleumot fektetnek rajzfelületként.



1.5. ábra: Rajzpadlás a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína)

A rajzpadlás műszaki felszereltségét a rajzoló munka eszközei, illetve a sablon és modellgyártáshoz szükséges faipari gépek és szerszámok alkotják. A szokásos rajzeszközök (krétta, ceruza, tuskihúzó stb.) mellett különleges, a nagyméretű rajzok elkészítésére alkalmas eszközök is megjelennek.

A padlóra rajzolt vonalterv alapvonalát és a hajó középvonalát, illetve a hajótest egyenes vonalait csapató huzallal, illetve 3-5m hosszú vonalzó lécekkel (rövidebb távolságok esetén) rajzolják meg. Az egymásra merőleges egyeneseknél a derékszöveget nyitókörzővel vagy rúdkörzővel szerkesztik meg. Szintén ezek az eszközök használatosak a hajótest szabályos köríves vonalainál (pl. medersor, hajócsavar alagút stb.). A vonaltervi mérettábla pontjainak felvitele után a hajó rövidebb ívelt vonalait nagyméretű görbevonalzókkal rajzolják meg. A hosszabb íveknél pedig (csomó és csavarodás mentes, általában fenyőfából

készült) ún. svungléceket használnak, melyeket különleges alakú súlyokkal, ún. delfinekkel rögzítenek a rajzolás idejére.



1.6. ábra: Vonalterv rajzolósa delfinokkal leszorított svungléccel

A végleges vonalakat lakkozással teszik tartóssá. A méretléceket és sablonokat általában fából készíti a rajzpadlás, melyekhez a pontos íveket a padlón lévő, kiegyenlített vonalrajzról veszik. Ehhez speciális, a hőmérséklet- és páratartalom-változásra méretét nem változtató fóliákat vagy pausz papírokat használnak. Szintén ilyen anyagból készítik el a bonyolultabb (hég)lemezek szabásterveit is.



1.7. ábra: A rajzpadlás által készített sablonok és szabástervek

### 1.5.2 A rajzpadlás fejlődése

A nagy terület-, idő-, és emberi erőforrás igény miatt a hajógyárak folyamatosan törekszenek a rajzpadlás, illetve a rajzpadlási munkák technológiai fejlesztésére.

A '60-as években az USA-ban megjelentek a félautomata lángvágógépek, melyek 1:10 méretarányú rajzok alapján voltak képesek a lemeztáblákat és profilokat kivágni. Ez a gyártástechnológiai fejlesztés lehetővé tette a rajzpadlás számára, hogy a teljes méretű vonalterv helyett tized akkora rajzokon végezze a kiegyenlítést, és az egyéb feladatait. Ez által a rajzpadlási munkák időigénye jelentősen lerövidült, valamint a munkavégzés helyigénye is kisebb lett. A méretarány növelésével azonban a rajzpadlási dokumentumok pontossági tűrés-tartománya is jelentősen csökkent. Például a rajzokon egy milliméteres tévedés a vágógépeken 10 mm-es hibát eredményez, amely a szekciós hajóépítésnél már megengedhetetlen. A rajzok alapanyaga is kritikus, hiszen itt különösen fontos a rajzok mérettartása. További gondot jelentenek az egyenletes vonalvastagság megtartása és a rajzok többszöri másolása során növekvő mérethibák. A rajzpadlási dolgozóktól is nagyobb szakértelmet igényel az 1:10 méretarányú rajzpadlás, mivel a megfelelő ráhagyások megítéléséhez nagy szakmai tapasztalat szükséges.

Az 1:10 méretarányú rajzpadlás csak rövid ideig létezett, ugyanis a számítástechnika fejlődésével, és a CAD-CAM rendszerek megjelenésével a kézi rajz-, és dokumentációkészítés eltűnt a hajógyárakból. Még a CAD-CAM rendszerrel nem rendelkező gyárak is csak a bordametszeteket rajzolják ki a rajzpadláson, mivel a számítógépes vonaltervek nem igényelnek kiegyenlítést. A modern hajógyártásban a rajzpadlás feladatait számítógépen végzik, ezért műhely jellege is megszűnt, s egy külön irodává alakult a hajógyár szerkesztési osztályán. Gazdasági okokból sok hajógyár leépítette a szerkesztési (adminisztrációs) részlegét, s a gyártási dokumentációt külső, erre szakosodott (általában a szerkesztési osztályból alakult) tervezőirodákkal végezteti. A gyártási tervkészítés kihelyezése sok, igen költséges hibához vezethet, ezért a tervezőiroda és a gyár közötti szoros együttműködés elengedhetetlen.

A modern hajógyárakban a gyártási dokumentáció alapja egy elektronikusan megszerkesztett és tárolt drót, felület vagy test modell (a szoftver típusától és fejlettségétől függően). Egy fejlett CAD-CAM szoftverrel e teljes méretű, kiegyenlített modellből kiindulva a gyártáshoz felépíthető a teljes, háromdimenziós hajótest szerkezet, sőt a cső és elektromos vezetékek pontos elhelyezése is megrajzolható, illetve a hajó felszereléseinek beépítése megtervezhető az utolsó csavarig. A virtuális hajóból ezt követően a gyártás számára bármely dokumentáció előállítható, így a rajzpadlási feladatok is beépülnek e számítógépes modellen-szerkesztési munkába. Például a hajó pontos anyagszükségletét, lemeztervét, az alkatrészek síkba fejtett vágási tervét, és a gyártás közbeni ellenőrző sablonok alakját a szoftver megfelelő moduljával elő lehet állítani. Ebből lehet a gyártástechnológia számára megfelelő papír alapú vagy NC/CNC program szintű dokumentációt szolgáltatni. A gyártás során alkalmazott sablonok száma egyre csökken, mivel az NC/CNC vezérlésű gépek nagy pontossággal dolgoznak. A számítógép vezérelt gépeket azonban nem mindenhol lehet használni, mivel e gépek beruházási költsége nagy, s csak nagy mennyiségű munkadarab esetén térülnek meg (vagy a gyár anyagi lehetőségei nem engedik meg a beruházást). Ezért a tervező és a gyár együttműködésekor törekszenek a lehető legkevesebb egyedi alkatrész-igényre (pl. kevés domborított felület a hajótesten), és ezeknél is a sablongyártás helyett, a lemezekre festett vagy égetett jelek segítik a gyártást. Ennek feltétele peresze, hogy a gyár rendelkezzen olyan speciális lemezvágó (láng/plazma/lézervágó) gépekkel, amelyek jelölni is tudnak. Néha azonban nem lehet vagy nem érdemes elkerülni a sablonok használatát.

Ekkor a virtuálisan felépített hajóról levett a papír rajzok (vagy CNC programok) alapján készíti el a sablont az asztalos vagy egyéb műhely. A pontos gépek és jelölések miatt a gyártás során kevés helyen van szükség méret ellenőrzésre, azaz mérősablonokra.

### *1.5.3 Számítógépes rajzpadlási feladatok*

#### *VONALTERV KIEGYENLÍTÉSE, FEDÉLZETI DOMBORULATOK ÉS ÍVEK KISZERKESZTÉSE*

Az egész rajzpadlási munka alapja már nem az 1:1 méretarányú földre rajzolt vonalterv, hanem a számítógépben tárolt drót, felület vagy testmodell, amely tartalmazza már a fedélzetet is. A kiegyenlítés a számítógépen történik, amihez a különböző szoftverek egyre több, a vonalak és felületek görbületét vizuálisan megjelenítő segédeszközöket adnak a tervezőknek. Nagy előnye, hogy így a rajzpadlási munka nem igényel nagy területet, és a kiegyenlítés akár százmilliméter pontos lehet. Azonban a tervezők (főleg a kezdő tervezők) könnyen túlzásba vihetik a kiegyenlítést, hiszen a gyártási pontatlanságok hiábavalóvá tehetik a befektetett munkát.

#### *A HAJÓ LEMEZTERVE*

A lemeztervet interaktív módon, 3D-ben készítik el a drót, vagy felület modelltől kiindulva. Gyakorlatilag a modellt virtuálisan belemezelik, azaz a lemeztábláknak megfelelő méretű felület vagy test elemekkel befedik. Ez a felület vagy test modell már megmutatja a lemezek hegesztési varratait, amire az összes többi hegesztési vonalat (hosszmerevítők, bordák stb. hegesztési varratai a lemezelésen) be lehet rajzolni. A kiterített lemezelési rajz a programokba beépített matematikai síkba fejtő függvényekkel már könnyen előállítható, pontos anyagbecslést tesz lehetővé.

#### *ALKATRÉSZEK VALÓSÁGOS MÉRETEINEK MEGHATÁROZÁSA, VÁGÁSI TERVEK*

A virtuális térbeli, s immár belemezelt modellt tovább építik, berajzolják a bordákat, válaszfalakat, hosszmerítőket, motor- és gépalapokat stb., azaz felépítik a hajótest szerkezetét a számítógépben. Ezután az egyes alkatrészeket egyenként síkba fejtik, vágási tervet készítenek róluk. Ezek mindig a hajógyár technológiai szintjétől függenek, e szerint lehetnek papír alapúak (alacsonyabb gyártástechnológiai szint), vagy NC /CNC programok.

A vágási tervek optimalizálása is a számítástechnika segítségével történik ma már. Célja a legkisebb hulladékkal járó vágási terv elkészítése. A hajógyárak kiélezett versenyében sok anyagköltséget spórolhat meg a gyárnak, ezáltal olcsóbb ajánlatot adhatnak. Az optimalizálási elméleti módszerek is sokat fejlődtek, de a mai számítógépes eszközökkel a vágás szimulációját is le tudják futtatni. Ezzel már a vágási tervek kiadása előtt kiküszöbölhetik a vágási hibákat, és minimalizálhatják a selejt gyártásának plusz költségeit.

#### *SZERELÉSHEZ, ELLENŐRZÉSHEZ, SABLONGYÁRTÁSHOZ SZÜKSÉGES SABLONOK ELŐÁLLÍTÁSA*

A sablonygyártás helyett, ahol lehet, a lemezekre festett vagy égetett jelek segítik a gyártást, amihez speciális, jelölésre is alkalmas lemezvágó gépek kellenek. Az NC hajlítógépek terjedésével már a lemez vagy profil hajlításhoz is a számítógépen írt programot készítenek. Ahol ellenőrző sablonra van szükség (3D sablonok, hajlítás-ellenőrző sablonok, készülékek a beépítéshez stb.) azt papír alapon, majd asztalos műhelyben fából elkészítik, vagy térbeli sablont gyártanak acélból.

#### *MODELLKÉSZÍTÉS A FEDÉLZETI FELSZERELÉSEK MŰKÖDÉSÉRŐL*

A számítástechnika, és a szoftverek fejlettsége ma már olyan szinten van, hogy a fedélzeti felszerelések (pl. csörlők, kötélterelő stb.) elhelyezéséhez, és a gépek működéséhez (pl.





## 1.6 Raktározás

Régen a hajógyárak alapanyagokból maguk állították elő a hajóhoz szükséges össze alkatrészt, a hajótest szerkezettől kezdve, a hajócsavaron és horgonyon át, a fedélzeti berendezésekig. Nagyon kevés, főleg alapanyag beszállítóval dolgoztak. Ez a helyzet mára megváltozott, a hajógyártás összeszerelő jellegű tevékenységgé vált. A mostani hajógyárak már „csak” a hajótestet gyártják alapanyagokból, de vannak olyanok is, ahol az egyes szekciókat beszállítókkal gyártatják. E változásnak köszönhetően kevesebb és kevésbé képzett dolgozóval, jobb munkaerő-kihasználással, gyorsabb termékátfutással, azaz gazdaságosabban működnek a hajógyárak. Az összeszerelő jellegű hajógyártás alapfeltétele a megfelelő minőségű, megbízható háttérpar, és kiépített beszállítói hálózat szükséges.

Legyen szó azonban egy modern, „just in time” rendszerben üzemelő, vagy egy hagyományos jellegű hajógyárról, a félkész vagy kész termékek raktározása kulcs fontosságú. Jegyzetünkben ugyan nem érintjük e témát, de meg kell jegyezni, hogy a raktárnyilvántartás, a készletek pontos ismerete, illetve ezek beépítése a gyártásszervezésbe szükséges, s a modern vállalatirányítási rendszerek használata elkerülhetetlen. Az osztályozó társaságok egy-egy hajó tanúsításánál már a raktározási, a nyilvántartási, és a vállalatirányítási rendszert (legalábbis részzeit) is ellenőrzik, azért, hogy a hajóba az előírások szerinti és megfelelően tárolt berendezések és anyagok kerüljenek beépítésére.

A hajóépítésnél általában háromféle raktározási feladattal lehet találkozni.

- *A beszállított, vagy már legyártott felszerelések, berendezések raktározása:* A felszerelés vagy berendezés jellegének megfelelő (ált.fedett, de a fedélzeti berendezéseknél nyitott) raktárban, a lehető legközelebb a beszerelés helyéhez (régebben sólyatér közelében, most inkább a modul összeállító helyeknél).



1.9. ábra: Beszállított alkatrészek tárolása a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

- *A gyártáshoz szükséges alapanyagok raktározása:* Egy jól bedaruzható fedetlen vagy fedett tér, lehetőleg közel az alapanyag előkészítő üzemhez, és a gyár infrastrukturális kapcsolataihoz. A gyárak a technológiától függően, pár hónapra elegendő készletet tárolnak itt.



1.10. ábra: Alapanyag raktározás a Severnav hajógyárban (Szörénytorna, Románia)



1.11. ábra: Alapanyag raktározás a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

- A félkész termékek köztes tárolása a gyártás különböző lépései között: Ezek az úgynevezett puffer vagy ütemtárolók, melyek a különféle gyártási műveletek eltérő termelékenységét igyekeznek kiegyenlíteni, illetve az alkatrészek gyűjtésére, osztályozására, tárolására és elosztására szolgálnak.





1.12. ábra: Lemeztáblák lángvágás előtt, az ütemtárolóban. (Uljanik hajógyár, Pula, Horvátország)

A hajógyáraknál kétféle raktározási elv szerint szokták szervezni az anyagok tárolását. Az egyik az anyagfajta szerinti tárolás, a másik az objektum szerinti tárolás. Az első (anyagfajta szerinti tárolás) inkább a régebbi, sok alapanyaggal dolgozó gyárakra igaz, illetve azokra, akik sok egyforma alkatrészsel, egy-két hajótípust nagy sorozatban állítanak elő. A másik (objektum szerinti) raktározás a szekciós építés sajátja, ahol a beépítendő alapanyagokat és alkatrészeket a beépítéshez legközelebb igyekeznek tartani, hogy a gyáron belüli „beszállítás” ne akadályozza a gyors termelést. Természetesen a hajógyárak a két raktározási elvet vegyesen alkalmazzák.

Bármilyen raktárról is legyen szó, legalább egy felelős személy által irányított raktár személyzetnek kell kezelnie a készletet. A raktározás feladatait ők látják el:

- Az anyagok átvétele, kirakása, nyilvántartásba vétele, a raktár adminisztrációja a vállalat irányítási rendszerében.
- Az anyagok meghatározott szempontok szerinti osztályozása, tárolása.
- A beszállítók (pl. acélművek) és az osztályozó társaságok bizonylatainak kezelése.
- A tárolt anyagoknak a gyártás ütemigénye szerinti előkészítése.

A raktárak technikai felszereltsége a tárolt anyagtól függően eltérő. Azonban a hatékony készlet kezeléshez mindenütt jól fel kell szerelni a megfelelő speciális emelő, rakodó, szállító és technológiai berendezésekkel. A beérkezett termékek kirakodásánál általában forgó vagy konzolos bakdaru, a raktárak kiszolgálásához pedig a híddaru a legáltalánosabb. A lemezeket általában mágneses emelőgerendával vagy lemezfogó pofával mozgatják, míg a cső és profilos anyagokhoz speciális tároló és mozgató eszközöket használnak.



1.13. ábra: Mágneses lemezemelő gerenda a Severnav hajógyárban (Szörénytornya, Románia)

A beszállított gépek, alkatrészek általában csomagolva (ládában, konténerben stb.) érkeznek, melyeket targoncával és/vagy emelőhevederekkel szoktak mozgatni. A csomagolásból általában csak a beépítés helyén veszik ki őket, s itt már a munkadarabra szerelt emelőfülekkel, vagy speciális készülékkel (pl. hajócsavar) tudják a daruhoz kötni.

Az alapanyagokra (lemez vagy profilos) jellemző, hogy a profilos alapanyagokat általában keretes tárolókban raktározzák. A felül nyitott kereteknél az anyagmozgatás mágneses emelővel, az oldalt nyitott kereteknél villástargoncával történik. A lemez alapanyagokat régen állítva tárolták, de így a lemezek sokszor deformálódtak, sok egyengetési munkát igényeltek (főleg a vékony lemezek). Ma inkább fektetve tárolják őket, de a raktározási magasság 1,2-1,5 m-nél magasabb nem lehet, mert e fölött az anyagok önsúlyuk miatt összetapadnak. A kiszolgáló út szélessége legalább 1-1,2 m kell legyen, az emelő berendezéstől függően. Az alapanyagok a felület-előkészítő berendezéshez sok gyárnál görgős konvektorokon jutnak el.



1.14. ábra: Görgősor a lemeztáblák mozgatásához a Severnav hajógyárban

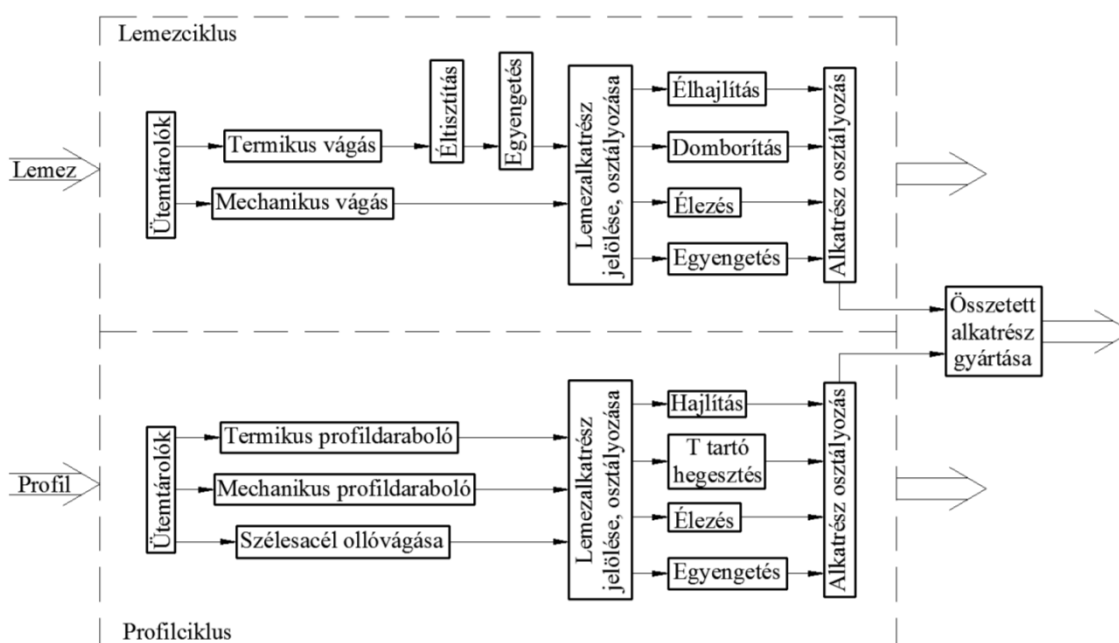
## 2. ALKATRÉSZGYÁRTÁS A HAJÓÉPÍTÉSBEN

A hajótest gyártásában az alkatrész fogalma különleges. Ugyanis nem lehet egyszerűen a méret vagy a funkció alapján alkatrésznek nevezni az egyes elemeket. Általános definíció szerint alkatrésznek nevezük azokat a termékeket, melyek az acélraktártól az első szerelési-hegesztési műveletig tartó folyamatban jönnek létre. (Pl.: a T tartók és keretbordák hegesztése is alkatrészgyártás.)

Az alkatrészeket a kiinduló alapanyag szerint csoportosíthatjuk:

- Lemezalkatrészek: Minden olyan lemezből készült munkadarab, amelyen a legközelebbi hegesztési munkafázisig az összes vágás utáni műveletet elvégezték.
- Profil alkatrészek: Minden olyan profilos acéltermékből darabolt munkadarab, amelyen a legközelebbi hegesztési munkafázisig az összes munkafolyamatot elvégezték. (Pl. a T tartó esetén, az öv és gerinclemezeket összehegesztették.)
- Összetett alkatrészek: Olyan profil vagy lemezalkatrészekből összeállított és hegesztett munkadarab amely később önállóan épül be az acélszerkezetbe. (Pl.: keretbordák, bűvönnyílás-tetők stb.)

A hajógyárak törekszenek minél kevesebb, a műhelyekben automatizáltan előállított alkatrészekből gyártani a hajókat. A gyártás átfutási ideje így jelentősen csökkenthető, illetve a fedett, jó infrastruktúrával rendelkező műhelyekben a gyártás minősége is szavatolható (főleg megfelelő automatizálással). Ennek köszönhető, hogy amíg a '70-es években egy hajó vasszerkezetének tömegét kb. 20%-ban tették ki az ismétlődő alkatrészek, mára ez az arány megfordult a hagyományos hajótesteknél



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.1. ábra: Az alkatrészgyártás folyamata



## 2.1 Egyengetés

A hajótest gyártása során a relatív kis méretű alapanyagok geometriai szabályossága alapvető fontosságú, hiszen az összeépítés során a hibák összeadódnak. A geometriai pontosság és szabályosság meghatározza a köztes alkatrészek és a végtermék mérethelyességét, a selejt mennyiségét. Nagy befolyással van a gyártástechnológiára is, ugyanis a nagy technológiai ráhagyások és ezek utólagos lemunkálása növeli a költségeket és a termék átfutási idejét.

### *LEMEZEK EGYENGETÉSE.*

A gyár területére beszállított lemezek a szállítás során sérülnek, a raktározásnál deformálódnak és rozsdásodnak. A hajógyártás során elérhető maximális pontossághoz (pl. a szekciógyártás 1 cm  $-n$  belüli tűréseihez) a sík, állandó és pontos vastagságú lemezből kell kiindulni. A lemezeket hengerlő gépek egyengetik, amik az állítható hengerek között a lemeztáblákat. Kis alakhibáknál és a lemezvastagság beállításához általában elegendő egyszer áthúzni a gépen a lemezt, de nagy domborulatoknál és a lemezsél hullámosodásánál (azaz kétirányú alakváltozásnál) többszöri egyengetés szükséges. Ilyenkor vékony lemezsávokat raknak a domborulat mellé, miáltal a lemez meghatározott területei nyúlnak csak, így a deformációk kisimulnak. Hosszirányú nyújtásnál a lemezsáv a domborulat előtt és mögött, keresztirányú nyújtásnál a lemezsáv a domborulat mellett, illetve hullámos lemezsél esetén a lemezsáv közepén helyezkedik el. A nyújtásos egyengetés nagy gondosságot, szakértelmet és tapasztalatot igényel. Általában a vékony és vastag lemezekhez különböző hengerlő gépeket használnak, de a modern gépek már univerzálisak.



2.2. ábra: Lemezegyengető gépsor az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia)

### PROFILOS ALAPANYAGOK EGYENGETÉSE

A különféle profilos alapanyagokat régen kézzel egyengették a szerelés helyszínén (sokszor még most is szükség lehet erre), azonban manapság már léteznek speciálisan a profilanyagok egyengetésére készített, hengerlő gépek. Azonban megfelelő raktározásnál ezek az anyagok kevésbé sérülnek, így az egyengetéssel nem kell törődni.

## 2.2 Felülettisztítás

Az alapanyagok felületének tisztítása az egyengetést követő, és a védőfestést megelőző művelet. Célja, hogy a lemez és profilos anyagokról eltávolítsa a gyártás (meleghengerlés) és raktározás során az acél felületén létrejövő oxidréteget. A hajógyártásban használt nyers (acél) alapanyagok felületén a reve és a rozsda is megtalálható. Revének nevezzük a hengerlés során, magas hőfokon keletkezett oxid réteget. Ez mélyen behatol az acél kristályszerkezetébe, így erősen tapad a felülethez, s eltávolítása egyszerű módszerekkel (pl. drótkefe) nem lehetséges. Az oxidáció másik formája a rozsdásodás, mely a tárolás során, nedvesség hatására, hidegen jön létre. Ez sokkal lazább szerkezetű, általában csak az acél felső rétegeit érinti, így eltávolítása egyszerűbb. A rozsdásodással kapcsolatban meg kell jegyezzük, hogy a hajógyártásban ma már csak normalizált lemezeket és profil anyagokat lehet használni. Ez azt jelenti, hogy az anyag hengerlése során kialakuló szálirányokat (eltérő kristályszerkezeti torzulások), és belső feszültségeket egy normalizáló hőkezeléssel igyekeznek eltüntetni, azaz homogén kristályszerkezetet alakítanak ki. Régi hajóknál megfigyelhető, hogy a nem normalizált lemeztáblák lemezesen korrodálódnak. Ekkor az oxidáció az anyag belső feszültségei által meghatározott rétegekben indul el, s a kívülről még épnek tűnő felület felpúposodik, s rétegekre mállik szét. Nem normalizált anyagokat tehát nem szabad használni a hajóépítésben.

Az oxidmentesítésnek számos módszere van, melyek elve alapján lehetnek:

- Oxidmentesítés hőhatással
- Oxidmentesítés mechanikai hatással
- Oxidmentesítés vegyi úton





Ezek közül a hajógyártásban a mechanikai behatással dolgozó, és egyes vegyi módszerek terjedtek el. Az oxid és az acél eltérő hőtágulására építő hőbeviteles módszerek csak kiegészítő jellegűek, illetve az anyagszerkezetre veszélyes vegyi módszerek egyáltalán nem használhatók.

### 2.2.1 A felület minősége

A festésre előkészített felület minőségét az elért felületi tisztaság határozza meg. Régebben ezt az MSZ 1891, ma az MSZ EN ISO 8501 szabvány definiálja.

A szabvány fényképes felületmintákkal, a felülettisztítással megmunkálendő felületek négyféle fokozatát különbözteti meg.



A felület oxidációs foka az MSZ EN ISO 8501 szerint	A felület képe	A felület leírása
A		A felületet egybefüggően befedi a meleghengerléskor keletkezett, szilárdan tapadó reve, esetleg megjelenhetnek már a rozsdafoltok is.
B		A felület rozsdásodása nagy foltokban megindult, illetve a reve elkezd lepatogzani.
C		A felületen a hengerlési reve lehullik vagy átrozsdásodott, és a felületi mélyedésekben szabad szemmel alig láthatóan megindult a rozsdásodás (pitting korrózió)
D		A felületről a hengerlési reve már lehullott, és a felületen szabad szemmel látható rozsdásodás indult meg.

forrás: www.transocean.com

2.1. táblázat: A megmunkálандó felületek rozsdásodási fokozatai az MSZ EN ISO 8501 szrint

A szabvány továbbiakban meghatározza, hogy milyen felületi minőségek érhetőek el az egyes tisztítási eljárásokkal, az adott kiinduló felületből. Ezeket a tisztítási módszer kódjával, és egy számmal jelöli, ami a tisztítás minőségére utal.

A módszerek kódjai:

- St: kézi felülettisztítás
- Sa: szemcseszórás
- Wa: nagynyomású vízszugár

A tisztítási minőség kódjai:

- 1: Enyhén végzett felületi tisztítás, mely eltávolítja a pergő festékrészeket, az esetleges laza revét, rosszul tapadó rozsdát, illetve zsírtalanítja a felületet.
- 2: Gondosan végzett felületi tisztítás, melynél csak a nagyon erősen tapadó festékbevo-

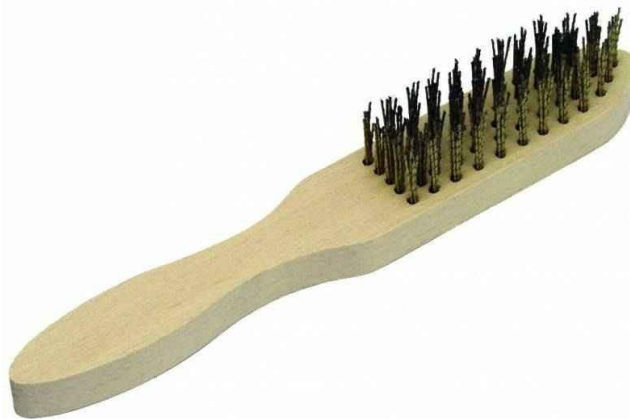
nat marad fent, a revéből is csak a nagyon jól tapadó részek maradnak a felületen, a rozsdafoltok eltűnnek, ill. zsírtalanítja a felületet.

- 2,5: Nagyon gondos felületi tisztítás, mely eltávolítja teljesen a festéket, a revét és a rozsdát. A felület csaknem fémtiszta lesz, de csak az eredeti felületi érdességgel rendelkezik, illetve zsírtalanítja a felületet.
- 3: Különösen gondos felületi tisztítás, mely eltávolít minden festéket, revét és rozsdát. A felület teljesen fémtiszta lesz, és a megmunkálásnak megfelelő felületi érdesség alakul ki, illetve zsírtalanítja a felületet.

## 2.2.2 Oxidmentesítés mechanikai módszerei a hajógyártásban

### 2.2.2.1 Kézi eszközök

A kézi erővel működtetett eszközök csak a laza rozsdaréteg eltávolítására alkalmasak, a reve eltávolítása nem lehetséges velük. Jellemzőjük az alacsony termelékenység (5-12perc/m<sup>2</sup>), illetve hogy a megmunkált felületen a tapadó rozsdarajta marad. A felület festése csak speciális rozsdá-átalakító festékekkel, vagy egyáltalán nem ajánlott. Általában csak szükségből, vagy javításnál a sérült hajótest felmérésének céljából használatos. Eszközei a kaparóvas (rasketta), illetve a különféle alakú és anyagú kézi drótkéfék.



Forrás: [www.festek.com](http://www.festek.com)

2.3. ábra: Kézi drótkéfe

### 2.2.2.2 Gépi eszközök

#### GÉPI DRÓTKEFÉK

A gépi drótkéfék is csak a rozsdá eltávolítására alkalmasak, azonban a felület minősége alapos megmunkálás után már alkalmas lehet festésre, illetve jóval termelékenyebbek (5,5-6,5perc/m<sup>2</sup>) a kézi módszereknél. Általában kevésbé tagolt, sík felületeken használatosak. Eszközei a villamos vagy sűrített levegővel hajtott kézi csiszológépek, melyek forgó (rotációs) vagy vibrációs kivitelben készülnek. Maga a drótkéfe-fej többféle formájú lehet (pl. csonka kúp, sík tárcsa, horony alakú stb.), a megmunkálandó felülettől függően.



2.4. ábra: Kúp alakú gépi drótkéfe

A legelterjedtebbek a sarokcsiszolóba fogható sík tárcsák, és az ún. Osborn drótkéfék. Ez utóbbiak nagy szilárdságú, edzett acélhuzalokból állnak össze. Ezek önélezőek, mivel az elkopott, ridegre edzett drótnak olyan nagy a súrlódása, hogy elpattan, s a törési felület új élt képez.

#### VIBRÁCIÓS ÜTŐPISZTOLY

A vibrációs ütőpisztoly sűrített levegővel működik, s egy acélhuzal köteg vibrációs mozgása révén „leütögeti” az oxid réteget a felületről. A nagy erőhatás miatt egyaránt alkalmas reve és rozsdá eltávolítására. A felület minősége azonban nem lesz kifogástalan, csak durva tisztításra jó. Termelékenysége is alacsony (45-55perc/m<sup>2</sup>) a felületminőséghez képest.

#### HORDOZHATÓ SZEMCSEFÚVÓ BERENDEZÉS

A szemcsefúvó berendezésekben sűrített levegővel a felületre szilárd szemcséket fújnak, melyek lekoptatják az oxid réteget és a különféle szennyeződések. Megfelelő berendezéssel gyakorlatilag fémtiszta felületet lehet elérni, s a módszer termelékenysége is kielégítő (20-30perc/m<sup>2</sup>). Főleg építés közbeni rozsdátlanításnál, az acéltest és a tankok belsejében, illetve javításoknál szokták használni.

A tisztítás mellett a szemcsék a felületet felérdesítik, mely jó hatással van a festés tartósságára. Az érdesség függ a szemcse nagyságától és a fúvócsőtől (levegőnyomás, fúvókanyílás stb.). A hatékony megmunkálás érdekében fontos a jó szemcse, nyomás és fúvócső választás.

A szokásos szemcseanyagok:

- finom kvarchomok (37 μm)
- durva homok (70 μm)
- vas sörét (90 μm)
- réz salak (75-100 μm)
- acélzúzalék (200 μm)

A száraz szemcsefúvó berendezések alkalmazása jelentős porképződéssel jár, ami főleg szeles időben jelenthet gondot. A por egészségügyi problémákat is okozhat (szilikózis), ezért a védőruha viselése, illetve a munkaterület leárnyékolása kötelező.

A porképződést csökkenti a Vacu Blast rendszerű szemcsefúvók használata. Ezek fúvófeje a koptató szemcséket, valamint a képződött rozsdá és fémport nagy részét visszaszívja, majd egy ciklonos rendszerű szűrővel szétválasztja (osztályozza), s a koptató szemcséket újra hasznosítja.

A nedves szemcsefúvó berendezéseknél nem keletkezik por, mivel a koptató szemcséket nem sűrített levegő, hanem nagynyomású víz fújja a felületre. A berendezés kialakításától függően a koptató szemcsék a víztartályban vagy a szórópisztolyban keverednek össze.

#### TELEPÍTETT SZEMCSESZÓRÓ BERENDEZÉS

Nagy mennyiségű, szabványos méretű alapanyagok oxidmentesítéséhez és tisztításához telepített szemcseszóró berendezéseket szoktak használni a hajógyárak. Az acéllemezek és profil anyagok oxidmentesítésén kívül ezek a berendezések az ún. shop primer festék felvitelét is végzik, mely a gyártás során óvja az acél anyagot a rozsdásodástól. A telepített szemcseszóró berendezések fémtiszta felületet tudnak előállítani, s termelékenységük (akár  $0,5\text{perc}/\text{m}^2$ ) kiváló.



2.5. ábra: Lemezelőkészítő gépsor a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

A hordozható szemcsefúvó berendezéseknél már említett koptató szemcsék a berendezés szórólapátkerekeiről verődik rá nagy sebességgel a lemezre vagy profilanyagra, s lekoptatja az oxidációs termékeket és a szennyeződések. A lemeztáblák görgő sorokon jut el és halad át a berendezésen.

A régebbi telepített szemcseszóró berendezések álló lemeztábla rendszerűek voltak. Ezek egyetlen előnye volt, hogy nem kellett a festés előtt gondoskodni a szemcsék lemezfelületéről történő eltávolításáról. Hátránya viszont, hogy a fektetve tárolt lemezeket bonyolult felállító és fektető hengersorral lehet csak megoldani, s a berendezésben az élén álló lemez saját súlyától is sérülhet (főleg a vékony lemezek).

A fekvő lemeztábla rendszerű gépeknél egyedüli probléma a lemez felső részéről történő szemcseeltávolítás, azonban ezt sűrített levegővel meg szokták oldani. Ezeket a berendezéseket gyakran kiegészítik a szemcseszórás előtti „lángfésűvel”, ami a hőhatás segítségével meglazítja a rozsdá réteget, s hatékonyabbá teszi a tisztítást.

### 2.2.3 Oxidmentesítés vegyi módszerrel

A vegyi úton történő oxid eltávolítást a hajógyárakban a csövek és egyéb zárt keresztmetzetű szerkezetek tisztítására alkalmazzák (pl. a csőrendszerek összehegesztése utáni rozsdá és salakanyag eltávolítására). A veszélyes és nehezen kontrollálható eljárásokat ha lehet, kerüljük.

#### 2.2.3.1 Savas pácolás

A savas pácolásnál a megtisztítandó alkatrészeket 60°C-os, 10~16 %-os kénsav vagy 20~30°C-os, 10 %-os sósav fürdőbe mártják, a megkövetelt felületi tisztaság elérésének megfelelő ideig. Mivel az oxid réteg általában nem egyenletes vastagságban van jelen a felületeken, s savakba inhibitorokat kevernek, amik csökkentik a hidrogén-fejlődést, és a már fémtiszta felületeken védőréteget képeznek. Igen termelékeny eljárás (30-50perc/ tábla), azonban különösen biztonságos (tűz és vegyvédelem) munkahelyet igényel.

#### 2.2.3.2 Rozsda átalakítás

A vegyi oxidmentesítésnél meg kell jegyeznünk a rozsda átalakítást, jóllehet a hajóknál nem használják. Az eljárás során a vasoxid réteget a foszforsav-alkohol-inhibitor keverék vasfoszfáttá alakítja. Azonban a kémiai folyamat nehezen befolyásolható, hatékonysága erősen függ az oxidréteg vastagságától. Ezért komoly korrózióvédelem előkészítéséhez, így a hajóknál nem használják.

### 2.2.4 Zsírtalanítás

A festést közvetlenül megelőző, felület előkészítő művelet a zsírtalanítás. Ugyanis a zsíros felületre a festék nem tapad meg, így nem lesz tartós és korrózióvédő a bevonat.

A zsírtalanítás vegyszerei lehetnek

- szerves oldószerek, melyek általában a benzín (robbanásveszély), a triklór-etilén vagy a perklór-etilén (mérgező) szoktak lenni.
- lúgos oldatok, mely a trisóval vagy nátronlúggal történő mosást jelenti.

Szokták még a zsírtalanítást túlnyomásos vizes gőzlefúvatással is végezni, melyhez nagy nyomású, lúgos vízzel kevert gőzt használnak. A művelet során a gőz fellazítja, a lúg pedig lemossa a zsírt. Nagy előnye e módszernek, hogy gyorsan szárad.

## 2.3 Festés

A hajógyárakban egy-egy hajó átfutási ideje több hónap is lehet, függően a méreteitől és a gyár technológiai fejlettségétől. Ez idő alatt az oxidmentesített, feldolgozott alapanyagok ismét elkezdnek korrodálódni, s mire a gyártás a festés fázisába kerül, az acélfelületek nem alkalmasak a bevonatok felvitelére. Éppen ezért az alapanyagokat még a feldolgozás előtt, közvetlenül az oxidmentesítés után védőbevonattal kell ellátni, mely a hajó végleges festéséig megakadályozza a korróziót.

Jóllehet a jegyzet hajógyártás folyamatát végigkövető felépítése szerint itt csak az alapanyagok gyártás előtti festéséről kellene szót ejtenünk, nem kívánjuk a védőbevonat készítés témakörét széttagolni, ezért e fejezetben foglalkozunk a hajó teljes bevonatrendszerével.



A hajókon használt festékek általában szuszpenziók, melyek kötőanyagból, pigmentekből és oldószerből állnak.

*Kötőanyagoknak* (filmképzőknek) olajokat, szerves anyagokat, természetes és műgyantákat használnak. Ezek hozzák létre a festék száraz, jól tapadó rétegeit.

A *pigmentek* szilárd halmazállapotú, színes vízben és zsírban oldhatatlan anyagok. Ezek adják meg a festék korróziógátló tulajdonságait, a színét, a hőállóságát, UV-állóságát stb., illetve a bevonat mechanikai ellenállását növelik.

Az *oldószer*ek, hígítók illékony szerves folyadékok, melyek a festék kötőanyagát feloldják, vagy folyékony állapotba hozzák, így teszik lehetővé a bevonat felvitelét. Ezek száradás közben elpárolognak, azonban fokozottan tűz és robbanás veszélyesek, illetve gőzeik mérgezőek.

### 2.3.1 A hajók bevonatrendszerének felépítése.

#### *Shop primer*

A szerkezeti elemekre először az alapanyag felülettisztítása után kerül fel bevonat réteg. Ez az ún. shop primer festék. Műgyanta alapanyagúak, korrózió gátló pigmentekkel, s a magas réztartalma miatt (hegeszthetőség érdekében van benne) vörös színű. Az újabb shop primer festékek a környezetkárosító réztartalom helyett más adalékkal oldják meg a festett részek hegeszthetőségét. A shop primer festékekkel szembeni alapvető követelmények:

- Ne befolyásolja az anyagok lángvághatóságát.
- Ne legyen káros hatással a hegeszthetőségre, azaz ne akadályozza meg az ívhegesztést, ne vigyen káros anyagokat a varratba és ne képezzen zárványokat benne.
- Ne tartalmazzon környezetkárosító anyagokat.
- A bevonat a hajó végleges bevonatrendszerének elkészüléséig (kb. 4~6 hónapig) gátolja meg a korróziót

A shop primer bevonat legfeljebb 20µm vastag lehet, a hegeszthetőség miatt.

#### *Tapasz (gitt) réteg*

Általában műgyanta alapú, jól csiszolható bevonat, melynek célja a felületi egyenetlenségek eltüntetése, és a sima felület elérése. De a tapasz csökkenti a bevonatrendszer mechanikai szilárdságát és vízálló képességét. Ezért csak az esztétikailag jelentős helyeken alkalmazzák (pl. a fedélzeti házaknál, személyhajók fedélzetein stb.). A hajótest víz alatti részein tilos tapaszréteget használni.

#### *Alapozó réteg*

A hajótest végleges korrózióvédő bevonatrendszerének első rétege. Jellemzője, hogy ezek a festékek pigmentben gazdagok, kötőanyagban szegények. Jól tapad a fémtiszta felülethez és a shop primer festéshez. Feladata, hogy jó tapadást biztosítson a rá felhordásra kerülő következő rétegnek, illetve

a víz alatti részekben és a vízvonalon jó vízállóság és korrózió gátló bevonatot képezzen; a ballaszttankokban oldószermentesen valósítsa meg a vízállóságot és korrózióvédelmet; a víz feletti részekben, valamint a belső, száraz tereken legyen korrózió gátló, lehetőleg vízbázisú, és feleljen meg a tűzvédelmi és munkavédelmi követelményeknek.

*Közbenső rétegek*

Ezeknek a bevonat rétegeknek a fő célja a bevonatrendszer teljes rétegvastagságának növelése, így a festékekkel szemben támasztott fő követelmény a jó tapadás az előző és a következő festék réteghez. Minél vastagabbak a közbenső rétegek, annál korrózióállóbb az a bevonat, azonban a festék vastagságával nő a benne ébredő feszültségek nagysága (pl. a hajótest deformációi vagy a hőtágulás miatt), ezért a közbenső rétegeknek rugalmasnak kell lenniük. Kötőanyag szegély, matt festékek.

*Átvonó réteg*

A hajótest bevonat rendszerének utolsó rétege. A víz feletti részeken viharálló, UV-álló, és dekoratívnak kell lennie, miközben növeli a korrózióállóságot. Beltéren főleg a díszítés és a korrózióvédelem a feladata. A víz alatti részeken az átvonó réteg az alagagtló festék, melynél a környezetvédelmi előírások betartása különösen fontos.

A hajógyártásban átvonó rétegnek általában műgyanta alapanyagú, kötőanyagban gazdag, de speciális feladatú pigmenteket (pl. UV-állóság, korróziógátló, szín stb.) tartalmazó, fényes festékeket alkalmaznak, legfeljebb 30-50 µm vastagságban (kivéve az alagagtló festékek).

A bevonattal ellátott terület jellege	A festékbevonat teljes vastagsága [µm]
Belső, korrózióknak és napfénynek alig kitett felületek	60-80
Atmoszférikus közegben lévő felületek (időjárásnak kitett felületek)	80-120
Víz alatti, és a hullámszásnak kitett felületek	15-200

forrás: Visi István, A hajógyártás technológiája

2.2. táblázat: A hajótest bevonatrendszerének szokásos vastagsága

2.3.2 *Festékbevonatok kivitelezése*

A bevonatrendszernek és felvitelének szigorú technológiai utasítása van. A festési tervet szigorúan követni kell, az osztályozó társaság ellenőrzi a bevonat vastagságot. A festékeket egységesen (központilag), a gyártó előírásainak megfelelően kell előkészíteni. Megfelelő körülmények között szabad csak festeni: A hajótest bevonatrendszerének felvitelére a legideálisabb a 20°C-os környezeti hőmérséklet, de +5°C alatt nem szabad festeni (kétkomponensű festékeknél ez a határ +15°C is lehet). Az eső előtt, vagy párás, harmatképződős időben könnyen vízbuborékok kerülhetnek a bevonat és a festett felület közé. A forró, tűző napon lévő felületre való festésnél pedig a kötés közbeni hőtágulásból adódó elmozdulások miatt a bevonat repedezhet (vízzáróság csökken).

Mindezek fényében a hajógyártásban a következő festési eljárások használatosak:

- *Ecsetelés* (2,5-5 perc/m<sup>2</sup>): Az eljárás nem termelékeny, de a legjobb az alapozáshoz, ugyanis az ecset kiszorítja a levegőt a festék és a fém közül. Mindig a megfelelő ecsettel, és a megfelelő viszkozitású festékekkel kell festeni.
- *Festékszórás* (1-2 perc/m<sup>2</sup>): Termelékeny eljárás, azonban nehéz a pontos rétegvastagságot betartani. Kültéren, szeles időben nem, vagy csak nagy festékvesztés árán használható. A rácsos felületeknél is nagy a festékvesztés. A különböző festékszóró technológiák nagy nyomású (2,5-4 bar) vagy kisnyomású (1-1,5 bar) szórópisztollyal, gravitációs vagy szívórendszerű festékadagolással dolgoznak. A festék megfelelő viszkozitása különösen fontos.

- *Nagynyomású, levegő nélküli festékszórás* (0,1-0,2 perc/m<sup>2</sup>): Termelékeny eljárás, mellyel nagy felületek gyorsan festhetők. Minimális a festékköd képződés, ezért kevés a festékvesztés még széles időben is. Kevés oldószert igényel, így zárt helyen is lehet alkalmazni, és gyorsan szárad. Rétegenként akár 100-200 µm vastagság is elérhető. A technológia lényege, hogy a festék nagy nyomáson (120-250 bar) jut el a szórópisztolyhoz, s a szabadsugárban szemcsékké expandál. A nagy nyomás miatt speciális tömlőkre van szükség, és a festéksugár fizikai sérülést okozhat. Ezért szigorúan be kell tartani a munkavédelmi és technológiai utasításokat.
- *Forró festékszórás* (1-2 perc/m<sup>2</sup>): Ennél az eljárásnál a festék viszkozitását fűtéssel hozzák a szóráshoz szükséges értékre, így nem hígítót használni. Ennek következtében gyorsabban szárad, és vastag bevonatréteget is lehet képezni. A festékréteg tömörebb, ellenálló képessége és élettartama nagyobb.
- *Elektrosztatikus szórás* (2-4 perc/m<sup>2</sup>): Az eljárás során a festék és a festendő tárgy ellentétes polaritású, így a festék részecskéket a festendő tárgy magához vonzza. Elsősorban hálók, rácsok, korlátok stb. festésénél alkalmazzák, mert minimális festékvesztés mellett egyenletes bevonatvastagságot lehet elérni. Azonban különleges, polarizálható festékre van hozzá szükség. Nem lehet vele tagolt, üreges felületeket festeni, mert az árnyékos részeken nem érhető el azonos a rétegvastagság. Vastag bevonatot sem lehet vele képezni, mivel a felhordott festék szigetel. A hajógyártásban nagy felületek festésénél nem vált be.

#### 2.4 Az alkatrészek jelölése

A hajógyártásban az egyes alkatrészek, köztes termékek jelölése, feliratozása elengedhetetlen, hiszen egy hajó több millió elemből áll össze.

Az előrajzolás már az alapanyagoknál elkezdődik. Az alapanyagokra történő előrajzolás feladatai a következők:

- az alkatrészek felrajzolása a lemeztáblákra, ha a kivágást nem számítógépes programok alapján végzik.
- a profilokra darabolási jegyzések felvitele
- technológiai tevékenységek, sajátosságok, előírások felvitele, jelölése
- tájoló jelek elhelyezése az alkatrészekon

Régen a lemeztáblákat egyenként, kézzel rajzolták elő a rajzpadlás sablonjai és a technológiai rajzok alapján (6,5-8,5 perc/tábla). Ma azonban az NC vágógépek az előrajzolás korábban említett feladatai közül az első kettőt átveszik, azonban a többit manuálisan kell végrehajtani, kivéve, ha a vágó gép egyben előrajzoló gép is. A legelterjedtebb előrajzolási technikák a gépeken a következők:

- pneumatikus pontozás
- ráégetett cinkporos rajzolás
- festőfejes rajzolás



Az egyes hajógyárak saját jelölő rendszereket alkalmaznak, de néhány alapjel közös:

Δ	Az alkatrész az úszótest bal oldalára kerül
□	Az alkatrész az úszótest jobb oldalára kerül
P	Az alkatrész far felőli részét jelzi
\$	Az alkatrész orr felőli részét jelzi
⊕	Az úszótest közepe
34b	A borda jelölése

A magyar hajógyárakban használt jelölési elvek pedig a következők voltak (forrás: Visi István, A hajógyártás technológiája):

- *Anyagfajta azonosító kód:* Az alapanyagok raktározásánál használatos jelölések, mely az anyagok fő méreteinek és minőségének leírását tartalmazza.
- *Szabásterv kód:* az anyagkódot is tartalmazó, a darabolási technológiák részére készül.

15	A	070 53 I 3	–	NC	T	015
Építési sorszám	Objektum típus	Anyag kód		Vágási technológia	Testszerkezet	Szabásterv sorszáma

2.3. táblázat: Példa a szabásterv kódra

- *Alkatrész kód:* az egyes alkatrészek azonosítását teszi lehetővé a szerelési folyamat részére (mikor, hova, és hogyan kell az alkatrészt beszerezni).

15	A	F	01	10	015	+
Építési sorszám	Objektum típus	Fenék szerkezet	Építési tömb száma	Síkszekció sorszáma	Alkatrész sorszáma	A síkszekció gyártásánál épül be

2.4. táblázat: Példa az alkatrész kódra

- *Technológiai kódok:* az alkatrészgyártáson belüli utómegmunkálások kódjai. (pl. kontúr-salakolás és sorjázás kézi köszörűvel, kontúrköszörülés fémtisztára, hegesztési élfaragás)

Ezekon kívül az alkatrészgyártásból kikerülő alkatrészekben, vagy a közös tárolón fel kell tüntetni a címműhely és azon belüli munkahelyi azonosítót.

## 2.5 Darabolás és vágás

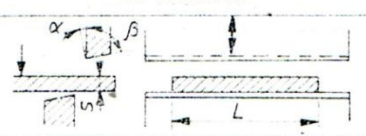
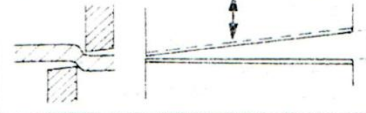
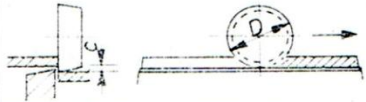
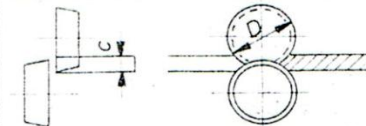
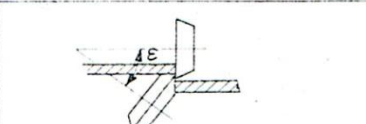
Az alapanyagok feldolgozásának első lépése a vágás és darabolás. A hajógyártásban a mechanikus, termikus és a vízsugaras vágási technológiákat szokták alkalmazni. A jegyzet e fejezetében felsorolás jelleggel bemutatjuk a hajógyártásban szokásos módszereket néhány „hajós” megjegyzéssel, azonban részletekbe menő technológiai elemzésre nincs módunk. Az érdeklődő olvasók ezeket szaktantárgyak és szakkönyvek segítségével sajátíthatják el.

### 2.5.1 Mechanikus vágás

A mechanikus alapanyagvágásnál a megmunkálásra kerülő munkadarab két egymás felé mozgó vágóél (ollók) közé kerül. Ezek a köztük lévő roppantási hézag hatására először rugalmas alakváltozásra kényszerítik a munkadarabot (hajlítás), mely a folyáshatár elérése

után plasztikus alakváltozást szenved, s a kialakuló csúsztató sík mentén elmozdul, végül kettéválik. A roppantási hézag megfelelő beállítása fontos (anyagminőség és lemezvastagság függvénye), mert a túl nagy hézagnál az anyag a vágási élnél meghajlik, a túlzottan kicsi hézagnál pedig az ollók nem vágják, hanem összenyomják a munkadarabot.

A hajógyártásban ezt a vágási technológiát csak vékony lemezeknél (max. 10 mm) szokták alkalmazni, illetve erősen ötvözött anyagoknál, ahol a termikus vágás során sérülhet a kristályszerkezet és az anyagösszetétel.

Vágási mód	Elrendezés	Jellemzők
Párhuzamos vágás (csapóolló)		$\alpha = 0 \dots 3^\circ$ $\beta = 75 \dots 90^\circ$
Ferde vágás (csapóolló)		$\varphi = 2 \dots 12^\circ$ $\alpha = 0 \dots 3^\circ$ $\beta = 75 \dots 90^\circ$
Tárcsás olló		$D = 25 \dots 30 s$ $C = 0,2 \dots 0,3 s$
Göngös olló párhuzamos tengellyel		$D = 25 \dots 30 s$ $C = 0,2 \dots 0,3 s$
Göngös olló keresztelő tengellyel		$\epsilon = 30 \dots 40^\circ$ $D = 20 s$

Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.6. ábra: A mechanikus lemezvágás főbb típusai

Főbb mechanikus vágógép típusok:

**Kézi lemezolló:** Legfeljebb 1 mm vastag lemezek helyszínen történő alakra vágásához.



2.7. ábra: Kézi lemezolló

**Karos lemezolló:** Az olló méretétől függő, legfeljebb 3~4 mm vastag lemezek szabásához, alakra vágáshoz. Egész lemeztáblát nem szoktak vele vágni.



2.8. ábra: Karos lemezolló a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

*Ferdeéles lemezolló:* Akár 10~12 mm vastag lemez vágására is alkalmas, azonban csak egyenes vágást lehet vele megvalósítani. A mechanikusan vagy hidraulikával függőlegesen mozgatott felső olló a megmunkáló asztalra szerelt álló, alsó ollóval együtt valósítja meg a vágást. Amennyiben a két olló éle párhuzamos lenne, a vágási vonalon végig, minden keresztmetszetnél egyszerre történne a vágás, amihez hatalmas erőre volna szükség. Ezért a ferdeéles lemezollóknál a két olló éle nem párhuzamos, így a vágási élen folyamatosan végighaladva, mindig csak egy keresztmetszetben vág a gép. Ez jóval kisebb ollóösszeszorító erőt igényel, viszont elmozdíthatja az asztalon a munkadarabot. E gépeknél tehát vágás közben le kell szorítani a munkadarabot.



2.9. ábra: Ferdeéles lemezolló a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

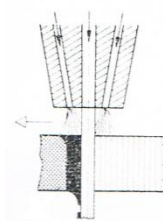
*Tárcsás lemezollók:* A gép méretétől függően akár 10~12 mm (melegen akár 20 mm) lemezvastagságot is el tudnak vágni, alkalmasak mind tábla és tekercs lemezek csíkokra darabolására. A két olló közül legalább az egyik egy forgó tárcsa, de elterjedtebbek a két vágótárcsás (alsó és felső olló) megoldások. A ferdeéles lemezollókhöz képest az ollók „végtelen hosszúak”, így hosszú vágóélek megmunkálását is lehetővé teszik. Ezen kívül a tár-

csak kevésbé surlódnak a munkadarab elmetszett felületével, így a megmunkálásnak kisebb az energiaigénye. Vastag lemezeknél a súrlódás további csökkentése érdekében a felső tárcsa tengelye nem párhuzamos az alsóéval, azonban ekkor a vágóerő jelentős része axiális irányban jelenik meg a tárcsák tengelyével (csapágyazás), illetve a munkadarabot is erősen le kell rögzíteni.

### 2.5.2 Termikus vágás

A termikus vágások esetén a daraboláshoz szükséges energia döntően hőenergia formájában kerül az anyagba, azaz megolvasztja.

#### 2.5.2.1 Lángvágás



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.10. ábra: A lángvágás folyamata

A lángvágás a hajógyártásban leginkább elterjedt vágási és darabolási módszer. Lényege, hogy az acetilén ( $C_2H_2$ ) és oxigén ( $O_2$ ) gázkeverékkel hevítő lángot hoznak létre, mely a vágandó anyagot az égési hőmérsékletére melegíti. Ezt egy másik fűvókából kilépő oxigénsugár elégeti, illetve a keletkezett salakanyagot a kinetikai energiájával eltávolítja. Speciális lángvágó fejet használnak, mely a középső fűvókában összekeveri a hevítő gázkeveréket, és táplálja a lángot. A középső fűvókát körülvevő, gyűrű alakú fűvókából pedig az anyagot elégető oxigént vezetjük az ömledékre.



2.11. ábra: Többfejes lángvágó gép a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)



Alkalmazása elsősorban ötvöztelen és gyengén ötvözött acéloknál lehetséges, mivel az oxidáció során kiéghetnek az ötvözők. Magát a technológiát 3000 mm-es anyagvastagságig lehet használni, de a hajógyártásban 5 – 300 mm vastag anyagok esetén alkalmazzák.



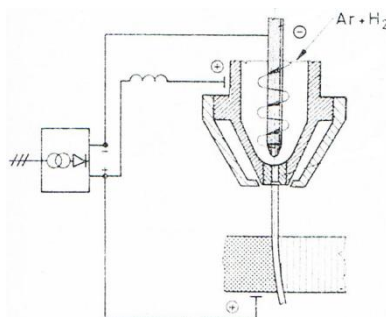
2.12. ábra: NC lángvágó asztal a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

### 2.5.2.2 Plazmavágás

A lángvágás helyett a lemeztábla daraboló és kivágó automata (NC) gépeknél egyre inkább a plazmavágás technológiáját használják. Ennek lényege, hogy a munkadarabot megolvasztó hőforrás a villamos ívvel ionizált, s ezáltal vezetővé tett hordozógáz, az úgynevezett plazma. A megolvadt fémet a plazmasugár mozgási energiája távolítja el, s a lángvágással szemben a fém nem ég el. A plazma hőmérséklete a 25000°C-ot is elérheti, szemben a lángvágás 3000°C-os láng hőmérsékletével. A plazmasugár jól nyalábolt, ezért nagy energia sűrűségű.

Hajógyártásban alkalmazott plazmavágás típusok:

*Védőgázos plazmavágás*, ahol a hordozógáz argon és hidrogén keveréke ( $\text{Ar} + \text{H}_2$ ), melyet argon védőgáz függöny vesz körül. A drága hordozó és védőgáz miatt elsősorban az erősen ötvözött acéloknál használják, mert a semleges védőgáz megakadályozza az ötvözők kiéghését a munkadarabból.



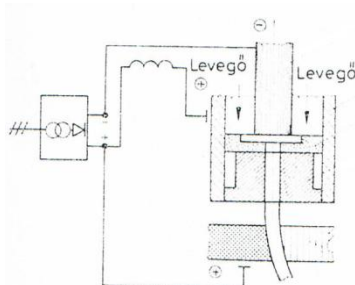
Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.13. ábra: A védőgázos plazmavágás folyamata

*Sűrített levegős plazmavágás*, ahol a hordozógáz levegő, melyet az ömledék eltávolításához szükséges kinetikai energia miatt nagy nyomáson vezetnek az égőfejbe. A hordozógáz



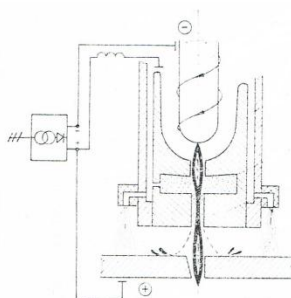
nagy oxigén tartalma miatt csak ötvözetlen és gyengén ötvözött acéloknál használatos. A hajógyárakban a lángvágó gépek legnagyobb vetélytársa, mert olcsóbb és gyorsabb, mint a védőgázos plazmavágás. Azonban a nagy hőmérsékleten keletkező nitrogénoxidok ( $\text{NO}_x$ ) miatt környezetszennyező.



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.14. ábra: A sűrített levegős plazmavágás vázlata

*Vízplazma-vágás*, ahol a hordozógáz nitrogén, amit vízsugarakkal nyalábolnak. Ezen kívül a plazmát egy vízszoknya választja el a környezettől (mint a védőgáz függöny), ami részben védi a vágási felületet a hidrogén bediffundálásától, és a keletkező szennyezőanyagokat (pl.  $\text{NO}_x$ ) nem engedi a környezetbe távozni. Kissé drágább, mint a sűrített levegős plazmavágás, de védőgázos árát nem éri el. Sok hajógyár az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások, valamint a termelékeny, jó minőségű vágás miatt ezt a technológiát alkalmazza az automata vágógépeknél.



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.15. ábra: A vízplazma vágás vázlata

Lemez- vastagság [mm]	Lángvágás [mm/perc]	Védőgázos plazmavágás [mm/perc]	Sűrített levegős plazmavágás [mm/perc]	Vízplazma vágás [mm/perc]
5	800	3000	5000	5000
10	725	1250	3000	3200
15	645	1150	1700	2500
20	590	650	1100	1800
25	530	500	800	1300

forrás: Komm, Hajók Kézikönyv

2.5. táblázat: Plazmavágó eljárások vágósebességének összehasonlítása a lángvágással

### 2.5.2.3 Lézersugaras vágás

Dinamikusan fejlődő technológia a lézerfény vágásra és hegesztésre történő felhasználása, s számtalan fajtája létezik. A hajógyártásban a  $\text{CO}_2$  lézerek terjedtek el leginkább, elsősorban az árak miatt. Működési elve, hogy a  $\text{CO}_2$  gázban 10,6 m hullámhosszú, monokróm

fényt hoznak létre. Ezt optikai úton a vágandó tárgyra fókuszálják (vagy kis felületre párhuzamosítják), s itt a nagy energiasűrűség felhevíti a munkadarabot. Az ömledéket oxigén (el is égeti) vagy argon gáz fújja ki a vágási résből. A lézersugár előnye, hogy mindent el lehet vele vágni vele anyagminőségtől függetlenül. Az anyagvastagságot egyedül a lézer teljesítménye határozza meg. Azon hajógyarak, melyek alkalmazzák ezt a technológiát, általában 100~1000W közötti lézereket használnak. Egyaránt használják erősen ötvözött és ötvözetlen acélokna. Ez utóbbinál a vágási sebességet 10x-esére lehet növelni oxigénnel történő kifúvatással, de a technológia költségessége miatt inkább az erősen ötvözött és nem vasfémek vágására használják. Argon védőgázos eljárással nincsen oxidos vágási felület, így nincs szükség hegesztés előtti éltisztításra.

### 2.5.3 Vízugaras vágás

A vízugaras vágás gyakorlatilag egy forgácsolási technológia, amelynél a forgácsolást nagy sebességgel (500–1500 m/s) áramló vízzel, vagy vízzel kevert abrazív homokkal végzik. A vágás technológiája nem az anyag elnyírására vagy megömlesztésére épül, hanem a víznek a koptató hatására. Előnye, hogy a vágott felület mentén minimális az anyag hőmérséklet változása, így az anyag szerkezete nem változik meg. Ezért mindenféle anyag vágható vele. A vágás sebessége 0,001~20 m/perc, függően a megmunkált anyagminőségtől és vastagságától.

Alapvetően kétféle változata létezik:

- *Vízugaras vágás*, amikor csak a víz eróziós hatását használják fel.
- *Abrazív vízugaras vágás*, amikor a vizet homokkal keverve, annak sokkal nagyobb koptató erejét is kihasználva történik a vágás. Ezen belül két típus:
  - injektoros (AWJ): a már fókuszált vízszugárba keverik vákuumos és egyben gravitációs úton az abrazív szemcséket.
  - szuszpenziós (ASJ): az abrazív szemcséket a magas nyomású vízhez keverik, és egyfajta iszapot képeznek velük.

## 2.6 Hajlítás és domborítás

A hajó vonalterv szerinti felületeinek kialakításához a lemez és profilos alapanyagokat hajlítani vagy domborítani kell. Hajlítás alatt az anyag egy tengely menti görbületének növelését (görbületi sugár csökkentése) értjük. Ekkor a munkadarab a hajlítási tengelyre merőlegesen húzó illetve nyomó igénybevételnek van kitéve, azaz a méretét nem változtató semleges szál hajlítási tengely felé eső részén az anyag zömöl, attól kifelé pedig nyúlik. Domborításnál a lemez alkatrészek két tengely menti görbületének növelését értjük, azaz egyszerre két tengelyre merőlegesen a munkadarab hajlítása történik. A nyomó és húzó feszültségek hatására itt is zömöl és nyúlik az anyag. Azonban előfordulhat, hogy a semleges felületet kívül esik a lemezvastagságon, azaz nem lehet kiteríteni vagy síkba fejteni a domborított felületet. Ezért a domborított lemezek anyagszükségletének meghatározásánál nagyobb technológiai ráhagyásokkal (nagyobb kiinduló lemeztábla), és több utómegmunkálással kell számolni.

### 2.6.1 Lemezhajlítás

A hajótest gyártásánál sok lemezhajlítási műveletre van szükség, kezdve a héj lemezelés egyszeres görbületű részeitől (pl. hengeres középrész medersora), egészen a hajlítással előállított peremes csomólemezekig. A hajlítás kivitelezésének technológiáját az anyagminőség, a lemezvastagság, és a lemezvastagsághoz viszonyított hajlítási sugár határozza meg.

Élhajlításnak nevezik, amikor a hajlítási sugár a lemezvastagsággal összemérhető méretű. Ez igen nagy igénybevételt jelent a lemez szempontjából, ezért a gyártásnál gondosan kell eljárni. Az élhajlítás minősége nagyban függ a dolgozók szakértelmétől és tapasztalatától, de a technológiai tervezés szempontjából néhány alapvető ökölszabály lefektethető:

- Amennyiben a hajlítási sugár és a lemezvastagság aránya 4-nél kisebb  $\frac{R}{L_v} < 4$ , a lemezeket a húzott oldalon le kell sorjázni, különben berepedeznek. Sőt  $\frac{R}{L_v} \approx 1$  esetén az éleket le is kell kerekíteni.
- Jóllehet a hajóépítési acélsanyagok normalizáltak, a kétszeres lemezvastagságnál nagyobb hajlítási sugárnál a lemeztábla hengerlési irányával párhuzamosan, ennél kisebb hajlítási sugárnál a hengerlésre merőlegesen kell hajlítani.
- Különösen a vastag lemezek hajlításánál mindig kell számolni a munkadarab visszaruhozásával, mivel megmunkálás közben a semleges szál közelében az anyag csak rugalmasan deformálódik.

Az élhajlítás gépi berendezései elsősorban a lemezvastagságtól függenek. A vékony, finom lemezek ( $L_v < 8$  mm) megmunkálásához kézi vagy gépi működtetésű lengőasztalos élhajlítót szoktak használni. E berendezés a befogott lemezt a lengőasztal megfelelő szögű elfordításával hajlítja meg.



2.16. ábra: Lengőasztalos élhajlító a Furtinox Kft.-nél (Budapest)



Közepes és durva lemezeket ( $L_v > 8$  mm) mechanikus vagy hidraulikus meghajtású élhajlító préssel hajlítják. Ezek lényege, hogy a lemezt az élhajlító kés belepréseli egy megfelelő szögű prizmába. Az élhajlítási sugár a kés lekerekítésétől és a prizma kialakításától függ.



2.17. ábra: Prizmás élhajlító gép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)

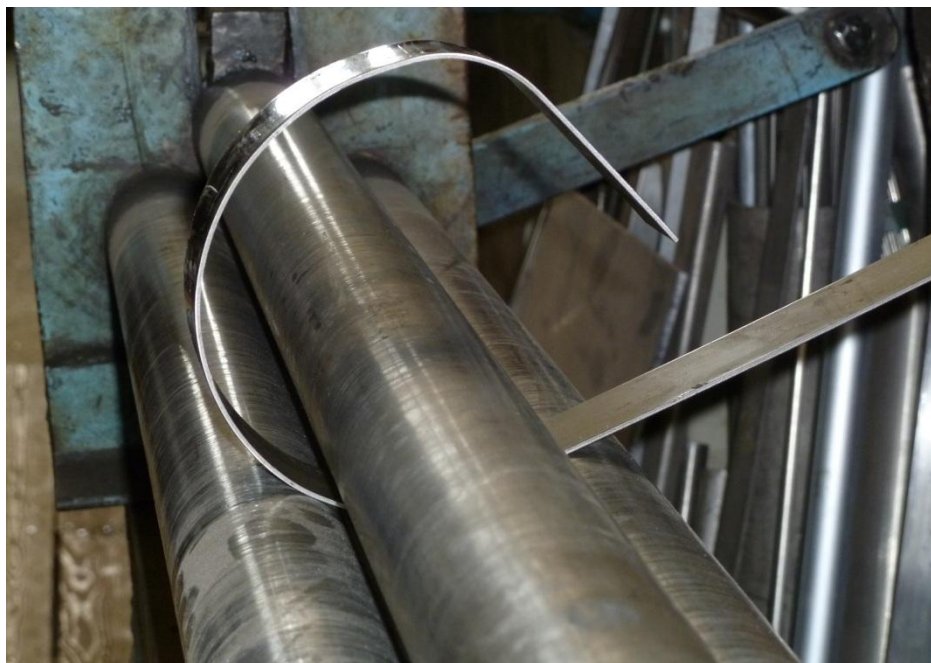


2.18. ábra: Prizmás élhajlítás a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

A hajógyártásban azonban ahol csak lehet, kerüljük az élhajlítást, s előnyben részesítjük a nagy hajlítási sugarakat. Ennek oka, hogy jóval kisebb a hajlítás energiaigénye (kisebb gép kell), a lemez élek berepedésének veszélye kisebb, illetve a hajlított felület festése is könnyebb. A nagy sugarú hajlításokat három vagy négy hengeres lemezhengerlő berendezésekkel szokták megvalósítani. Ezekkel hengerpalást vagy kúppalást felületeket lehet előállítani.



2.19. ábra: Lemezhajlító hengerlőgép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)



2.20. ábra: Lemezhajlítás hengerléssel a Furtinox Kft.-nél (Budapest)



### 2.6.2 Lemezdomborítás

A hajógyártás legnehezebb, nagy gyakorlatot és tapasztalatot igénylő munkák egyike. A nagy, kétszeresen görbült felületek (pl. a hajó farkosár, vagy a bulbaorr lemezelése) kialakítása időigényes, precíz csapatmunkát követel. Régen szinte kizárólag melegen domborították a lemezeket, ma már inkább csak hidegen (technológia fejlődése, jobb alapanyagok). A domborítás nehézségei, illetve a gyorsabb, kevesebb szakértelmet igénylő gyártás, valamint az alacsonyabb megmunkálási költségek miatt a hajógyárak jobban kedvelik azokat a hajóterveket, amelyeknél a héjlemezelés síkba fejthető (hajlított felületekből áll). A hajógyártási gyakorlatban többféle domborító eljárás használatos.

#### 2.6.2.1 Domborító hengerlés

A hengerléssel történő lemezalakítással elsősorban a lemezek egyirányú hajlítását teszi lehetővé. Azonban speciális, alakos hengerekkel a domborítás is megoldható. Jellemzője, hogy a lemeztáblát többször, többféle képen kell áthúzni a hengerek között, s a hengerek tengelyére merőleges irányban nem lehet nagy görbületet adni az anyagnak.

#### 2.6.2.2 Domborító sajtók

Nagy görbületű felületek (akár gömbfelületek) előállítására alkalmas eljárás. Hideg- és melegalakítás is végezhető vele. Alapvető gépi eszköze az élhajlításnál használt présgépekhez hasonló, de gőz vagy hidraulikus meghajtású, nagy erő (akár 5000kN) kifejtésére alkalmas sajtológép.



2.21. ábra: Domborító és hajlító sajtók az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)

A hajón belül nagyszámban előforduló, domborított alkatrész esetén gazdaságos egyedi sajtólószerszámot készíteni (mint az autógyártásban), azonban sokkal jellemzőbb az univerzális sajtóló szerszámok használata. Ezeknél az alsó szerszám-félre (matrica) vonal mentén fekszik fel a sík lemeztábla, s a domborítás során ebbe nyomja bele a lemezt a fel-

ső szerszám-fél (bélyeg). A lemez többszöri megnyomásával és közben megfelelő elmozdításával alakul ki a kívánt felület. A nagy szakértelmet és gyakorlatot igénylő megmunkálás közben a kívánt alak elérését szárny és szekrénysablonokkal ellenőrzik. A hajógyártásban alkalmazott lemeztáblákat a domborító sajtó alatt csak több ember tudja pozícionálni, ami összehangolt csapatmunkát igényel. De a nagyméretű munkadarabokat csak speciális, a lemeztáblák öt vagy hat szabadságfokú mozgatását is lehetővé tevő daru berendezés tudja mozgatni.

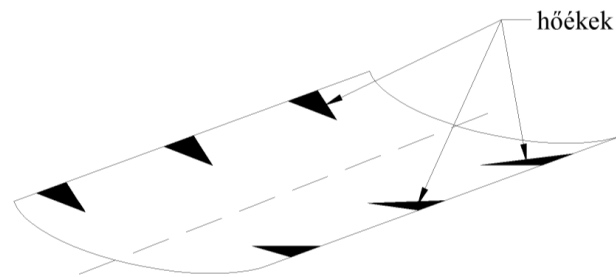


2.22. ábra: Domborító sajtó az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia)

A domborító sajtókkal a műveletet lehet felhevített lemezzel is végezni. Ez kisebb sajtoló erőt igényel megmunkáláshoz, ami korlátozott gépteljesítmény, vagy nagyon vastag munkadarabnál előnyös lehet. Azonban a melegdomborítás összes energiaigénye több tízszerese a hidegalakításénak, s nagyon ügyelni kell az acéllemez anyagminőségének megőrzésére (hevítési hőmérséklet). A pontos gyártás pedig különösen nagy szakmai gyakorlatot igényel, mert a kihűlő, már domborított lemez deformálódik.

### 2.6.2.3 Domborítás hőbevitellel

A lemezeket a lokális hőbevitel által okozott dilatációs feszültségekkel is lehet alakítani. Például egy lemez szélét hőékekkel felmelegítve, a hőékek szélén helyi húzófeszültség ébred a hűlés során, s a lemez nem melegített, középső részén pedig nyomófeszültség keletkezik. A két feszültség hatására a lemez deformálódni kezd, s a hőékek megfelelő használatával a kívánt alakra hozható.



2.23. ábra: Lemezhajlítás hőékekkel

Az eljárás csak nagy szakértelem mellett ad pontos eredményt, gyakorlat nélkül csak görbe lemezeket lehet gyártani vele. Elődomborított lemezek utómunkálatainál, összetett hegesztett szerkezetek egyengetésénél (pl. hajótest lemezelésének bordák közti kisimítása, vagy hegesztett darugém egyengetése), illetve a hajótest javításakor, a domború külháj lemezelés pótlásakor használatos ez az eljárás.



2.24. ábra: Lemez egyengetés a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

### 2.6.3 Profilok hajlítása

A hajógyártásban elsősorban a külháj ívét követő bordáknál, de egyéb szerkezeti elemeknél és a csőrendszerek kialakításánál is szükség van a profilos anyagok hajlítására. A bulba, T vagy L profilú anyagoknál a semleges szál nem a profil övé részébe esik, ezért a hajlítás során csavaró nyomaték is keletkezik, ami torzíthatja a profil alakot, és a keresztmetszetek egymáshoz képesti elfordulását okozhatja (csavarodás). Cső vagy más zárt keresztmetszetű anyagoknál a szelvény a nyomott oldalon behorpad, a húzott pedig kila-pul, amennyiben a hajlítási technológiában erre nem fordítanak figyelmet.

A profilos anyagok hajlítását kis gerincmagasság vagy nagy görbületű hajlításnál sablonokkal ellenőrzik, azonban nagy gerincmagasságú tartóknál és kis görbületű hajlításnál a hajlí-



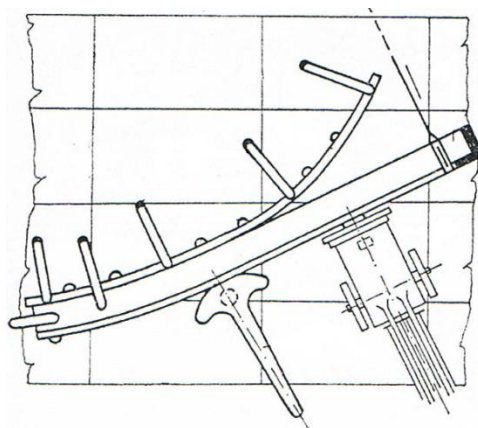
tandó görbe tükörképének profilra történő felrajzolásával is lehet ellenőrizni. Ugyanis a megfelelő hajlítás után a felrajzolt görbének ki kell egyenesednie.



2.25. ábra: Lemez egyengetés a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

### 2.6.3.1 Melegalakítás

A hajlítás történhet melegalakítással, amikor a felhevített munkadarabot valamely sablon mentén relatív kis erőbevitellel meghajlítják. Megjegyezzük azonban, hogy bár a hajlító erő relatív kicsi, a hőbevitel révén sokkal több energiát igényel a meleg, mint a hideg alakítás.



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.26. ábra: Bordahajlítás melegalakítással

Csőeknél a cső belsejét homokkal kitömik, s a végeit ledugózzák, hogy a hajlított részen ne torzuljon a cső keresztmetszete.

Bordaprofilok meleg hajlításánál a felhevített alapanyagot egy munkapadra erősítik, s a szintén a munkapadra erősített sablon mentén hajlítják. A hajlítás közben a már meghajlított profilt több helyen lerögzítik a munkapadhoz, hogy elkerüljék a csavarodást.

### 2.6.3.2 Hidegalakítás

#### *Görgős hajlítás*

A lemeztáblák hengerléses hajlításának elvén működnek a profilos anyagok görgős hajlító berendezései is. A különbség, hogy a profiltorzulás és a csavarodás elkerülése érdekében speciális profilú, illetve vezető görgőket használnak a gépeken.



2.27. ábra: Profilhajlító gép a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

A csövek görgős hajlításánál egy speciális profilú, a hajlítási sugárnak megfelelő átmérőjű tárcsa köré hajlítja egy szintén speciális profilú mozgó görgő a csövet. A speciális görgő és tárcsaprofiloknak köszönhetően a csőkeresztmetszet torzulása nem következik be. Az eljárás hátránya, hogy minden egyes cső átmérőhöz és hajlítási sugárhoz külön hajlító szerszámra (tárcsa és görgő) van szükség.

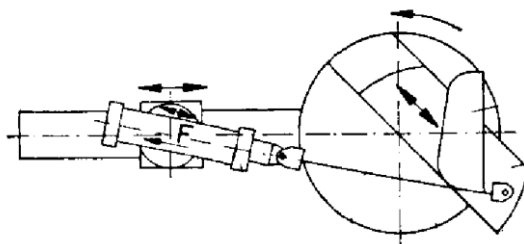


2.28. ábra: Görgős csőhajlító a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

#### *Nyújtva hajlítás*



Az eljárás során a profilos alapanyagot a hajlító gépbe befogva húzó feszültségnek teszik ki, majd a hajlítási sablon köré hajlítják (a sablon rányomásával történik a képlékeny alakítás). A befogott alapanyagban a húzófeszültségnek akkorának kell lennie, hogy a hajlítás semleges szála a profil (eredetileg nyomott) szélére kerüljön. Így hajlítás közben nem keletkezik a profilban nyomófeszültség, nem torzul, és nem csavarodik a profil. Vigyázni kell azonban a nagy gerincmagasságú profiloknál, mert ekkor a hajlítás külső sugaránál könnyen elszakadhat az anyag (berepedezik). A gép drága és nagy helyigényű, de nagy sorozatoknál megéri az alkalmazása.



Forrás: Komm F., Hajók kézikönyv

2.29. ábra: Nyújtva hajlítás

## 2.7 Hegesztés

A hajóépítésben szegecselést az '50-es évektől váltotta fel a hegesztés, mely technológiai váltás a hajótulajdonosoknak, és a hajógyáraknak is kedvező volt.

*Előnyök a gyártó szempontjából:*

- A hegesztés nagyobb mértékű és részletesebb előgyártást tesz lehetővé.
- A hegesztett kapcsolatokkal könnyebb olaj és vízzáró kötéseket létrehozni.
- A szerkezeti elemek összeillesztése és összeszerelése sokkal gyorsabb.
- Kevesebb képzett munkaerőre van szükség a gyártásnál.

*Előnyök a hajótulajdonos szempontjából:*

- Könnyebb hajótest szerkezete, így azonos méretű hajóban több árut lehet szállítani.
- A hajó fenntartása, karbantartása egyszerűbb, olcsóbb, ritkább beavatkozást igényel.
- A kevésbé érdes hajótestnek kisebb az ellenállása, tehát kisebb az üzemanyag felhasználása (vagy gyorsabb a hajó).

### 2.7.1 Hegesztési eljárások

Minden hegesztési eljárás az összehegesztendő anyagok megolvasztásával, és az ömledékek (hozaganyaggal vagy hozaganyag nélküli) egyesítésével hozza létre a szilárd kötést. A különféle anyagokhoz eltérő hegesztési technika kell, és nem lehet minden anyagot összehegeszteni egymással. A jegyzet e fejezetében felsorolás jelleggel bemutatjuk a hajógyártásban szokásos hegesztési technológiákat, azonban részletekbe menő technológiai elemzésre nincs módunk. Az érdeklődő olvasók ezeket szaktantárgyak és szakkönyvek segítségével sajátíthatják el.

## 2.7.1.1 Gázhegesztés

A gázhegesztésnél – a lángvágáshoz hasonlóan – az anyagokat megolvasztó lángot az acetilén ( $C_2H_2$ ) és oxigén ( $O_2$ ) gázkeverék adja. A láng külső rétege a levegő oxigénjét használja az égéshez, a mag pedig a keverékét, ezért a mag belső hőmérséklete  $3000^\circ C$  körüli. Ez alacsonyabb a többi hegesztési módhoz képest, így a lánghegesztés egy relatív lassabb eljárás (tovább kell melegíteni az anyagot), ami nagy területen változtatja meg a szövet-szerkezetet, és legfeljebb 7~8 mm-es lemezvastagságig szokták használni. Azonban vékony lemezek (~1 mm vastag) összehegesztésére, ahol a túlzott koncentrált hőbevitel elégetné az anyagot, kiválóan alkalmas és esztétikus varrat készíthető vele. Azonban használatához gyakorlott hegesztőre van szükség.



2.30. ábra: Gázhegesztő készülék a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

Az oxigén és acetilén gázok keverési arányától függően többféle gázlángtípust lehet megkülönböztetni, melyek eltérően alkalmasak hegesztésre:

Oxidációs láng:  $\frac{O_2\%}{C_2H_2\%} > 1$

Ezt a lángot a nagy hővezetésű fémekhez (pl. réz) szokták használni, azonban az acél és vas hegesztéséhez nem jó, mert az oxigénben gazdag láng kiegészíti a szenet a rácsszerkezetből.

Semleges láng:  $\frac{O_2\%}{C_2H_2\%} \approx 1$

Mivel a gázkeverék az acetilén elégetéséhez szükséges mennyiségű oxigént tartalmazza, a láng semleges, és a hegeszthető acélok hegesztésére alkalmas.

Karbonizáló láng:  $\frac{O_2\%}{C_2H_2\%} < 1$

Ennél a lángnál kevesebb oxigén van a gázkeverékben, mint amennyit az acetilén igényelne, így a szénhidrogénből először a hidrogén ég el. A szén egy része pedig a gázkeverékből maradt, illetve a környezettől elvont oxigénnel ég el, másik része bediffundál a hegesztési ömledékbe (a varratba). A túlzott széntartalom feszíti a kristályrácsot, azaz rideggé teszi a varratot, ezért acéllemezek hegesztésére a karbonizáló láng nem alkalmas.



Karbonizáló láng



Semleges láng



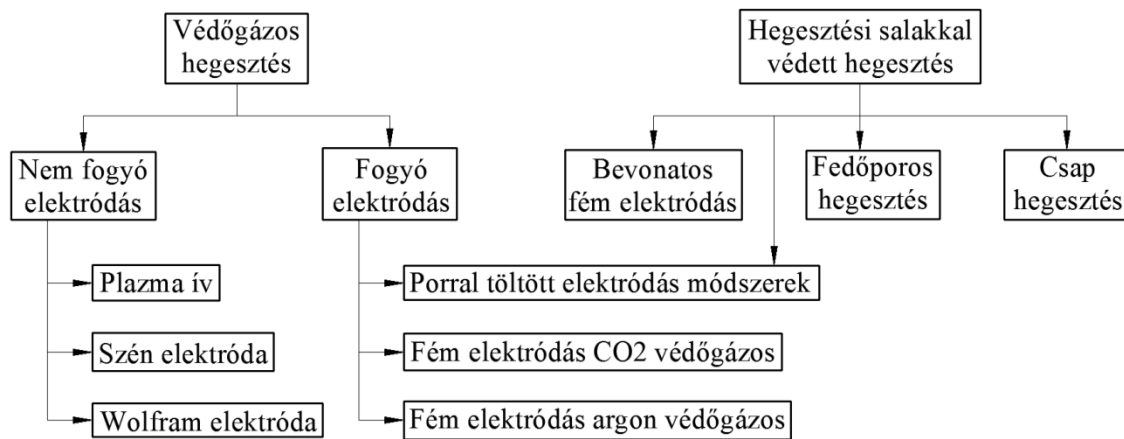
Oxidáló láng

Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.31. ábra: Lángtípusok a lánghegesztésnél

### 2.7.1.2 Villamos ívhegesztés

Az összehegesztendő anyagok megolvasztásához szükséges hőbevitel egy elektróda és a hegesztendő fém között áthúzó ív hőmérsékletéből adódik.



Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.32. ábra: A villamos ívhegesztés hajógyártásban alkalmazott típusai

#### KÉZI ÍVHEGESZTÉS BEVONATOS FÉMELEKTRÓDÁVAL

A hegesztéshez használt pálca egy bevonattal ellátott elektróda.

Az elektróda anyagminősége az összehegesztendő anyagoktól függ, de általában valamilyen lágy acél. Ennek a feladata részben az ív képzése, és hegesztendő anyagok közötti rést kitöltő a hozaganyag biztosítása. A pálca bevonata a hegesztés során szintén megolvad, és az ömledék tetején úszó salakot képez. A bevonat feladatai:

- leolvadása során befolyásolja az ív stabilitását
- a képződő salak elzárja a levegő oxigénjét az ömledéktől,
- nem engedi a szennyeződések bediffundálni a varratba
- speciális ötvözőket juttat a varratba
- lassítja a varrat kihülését (nem lesz rideg a kristályszerkezet)



2.33. ábra: Bevonatos elektródák kézi ívhegesztéshez

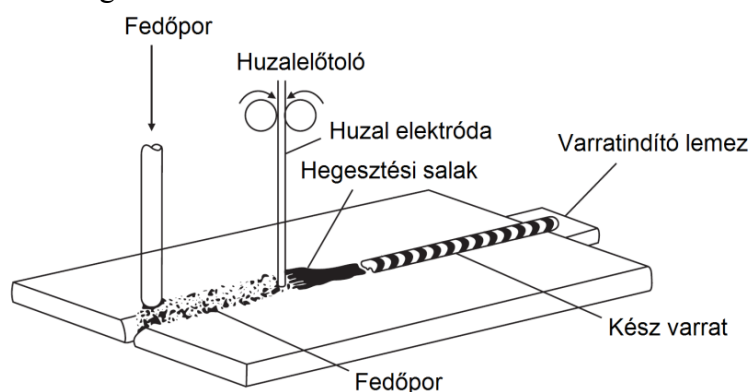
Az általános hajószerkezeti acélokhoz használt elektróda típusok lényegi különbsége a bevonat összetételében van:

- *Rutil elektródák:* A bevonat titán tartalma nagy, ezáltal stabil az ív, és jól kontrolálható a hegesztés. Könnyű a hegesztés megkezdése és befejezése.
- *Bázikus vagy alacsony hidrogén szintű elektródák:* A pálcá bevonata nagy mésztartalmú, ezért salak a környezeti párából a varratba diffundáló (és a varratot rideggé tevő) hidrogént kizárja. Azonban ez a bevonat gyakorlott hegesztőt igényel, mert az ív nem stabil, a hegesztés megkezdésekor és befejezésekor könnyű beégetni a varratot.

A hajógyártásban a kézi ívhegesztést az általános, vagy kevésbé ötvözött szerkezeti acélokhoz használják, de speciális pálcákkal már lehet erősen ötvözött acélokat (pl. rozsdamentes acél), sőt könnyűfém ötvözeteket is hegesztetni. A hegesztendő anyagokon kívül a pálcá típusát a hegesztési irány és helyszín is meghatározza (pl. a fej feletti hegesztéshez olyan pálcát kell használni, aminél nem fröcsköl az ív, és nem csöpög le az ömledék.)

#### AUTOMATA HEGESZTÉS FEDŐPOR ALATT ÉS A FUSARC ELJÁRÁS

A hajószerkezeti anyagok hosszú, vízszintes hegesztéséhez ( pl. lemeztáblák összehegesztése ) a bevonatos elektródás automata hegesztés a gyakori pálcacsere miatt nem lenne hatékony (sok pálcá hulladék és idő). Ehelyett inkább különválasztják az elektródát és az ömledéket védő bevonatot. Az elektróda ilyenkor tekercsben van, és a hegesztőgép automatikusan adagolja. Az ömledéket pedig a varrat tetejére juttatott fedőpor védi. A fedőpor szerepe ugyan az, mint a kézi ívhegesztésnél a pálcák bevonatának. A fedőport a hegesztés helyén juttatják a felületre. Az ív e por alatt működik, megolvasztja azt, s az olvadt fedőpor védi a hegesztési varratot. Az automata, fedőpor alatti hegesztésnél az elektróda előtt halad egy szórófej, ami a fedőport a varrat helyére juttatja. Az elektróda után pedig egy szívófej halad, ami a fel nem használt port felszívja. A gép elhaladása után csak a kész varrat, illetve a varratot fedő salak marad a lemezen (megolvadt fedőpor), de ez a hűlés során megrepedezik és leválik a hegesztési varratról.

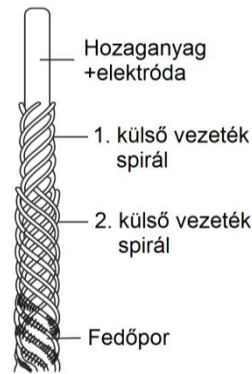


Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.34. ábra: Fedőporos ívhegesztés

Az úgynevezett Fusarc eljárásnál a fedőport nem kiszórjuk a hegesztés elé, hanem pontosan adagolva, a fogyóelektródán lévő vezetéken keresztül kerül rá a varratra.





Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.35. ábra: Fusarc ívhegesztés

Megfelelően beállított fedőpor alatti hegesztéssel kiváló és azonos minőségű hegesztési varrat hozható létre. Az automata fedőporos hegesztést inkább műhely körülmények között (időjárástól védve) alkalmazzák, viszont a Fusarc eljárás jól alkalmazható még mostohább időjárás és piszkos felület mellett is.

A hegesztési eljárással 25 mm vagy vastagabb lemez is összehegeszthető. A vastag lemezeknél azonban nem elég egy oldalról hegeszteni, úgynevezett gyökvarratot is kell képezni a másik oldalon. Ezt kétoldalas géppel, vagy egy oldalról, de túloldali hegesztőszalaggal leragasztva készítik. Többféle hegesztőszalag létezik, de mindegyiknek a lényege az, hogy a hegesztés hőjét visszaveri a túloldalról, ezáltal itt is hegesztési varratot képez.



Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.36. ábra: Gyökvarrat képzési módszerek egyoldali hegesztésnél

### VÉDŐGÁZOS HEGESZTÉS

A védőgázos hegesztéseknél a fedőpor vagy pálcabevonat ömledékvédő szerepét a hegesztőpisztolyból kiáramló, az elektródát és az ömledéket körülvevő védőgáz köpeny veszi át. A védőgáz valamilyen semleges (inert) gáz, leggyakrabban CO<sub>2</sub> vagy argon. A védőgázos ívhegesztéssel jobb minőségű hegesztési varratot lehet elérni, mint a fedőporossal, de költségei is magasabbak, nem lehet ötvözni vele a varratot (ha ez cél). Viszont a fedőporral ellentétben, erősen ötvözött acélokat és könnyűfémeket is lehet vele hegeszteni, mivel a levegőtől nem tud oxigén jutni az ömledékhez, így az nem oxidálódik. Főbb típusai:

- Argon védőgázos, wolfram elektródás ívhegesztés (TIG vagy AWI):

A hegesztést wolfram elektróda végzi, az ívet és a varratot pedig az argon gáz védi a környezettől. Jellemzője, hogy az elektróda még az ív nagy hőmérséklete ellenére sem olvad meg, azaz nem kerül az ömledékbe, s nem fog el. Pontosán illesztett, rés nélküli varrat előkészítésnél nincs is szükség hozaganyagra, viszont ha szükséges, a hegesztendő anyagnak megfelelő hozaganyag pálcával ki lehet tölteni a hegesztési réseket. Az ívgyújtás nagyfrekvenciás árammal történik, hogy ne kelljen a wolframszálat hozzáéríteni a felülethez, az ívet pedig egyenáram tartja fenn. A gázhegesztést kiváltó tech-

nológia, a hajóiparban főleg könnyűfém és rozsdamentes acél hegesztéshez használják, legfeljebb 8 mm lemezvastagságig.



2.37. ábra: Argon védőgázos, wolfram elektródás kézi ívhegesztő a Furtinox Kft.-nél (Budapest)

- Argon védőgázos, fogyó elektródás ívhegesztés (MIG vagy AFI):

A hegesztési technika lényege ugyan az, mint a wolfram elektródás hegesztésnél, azonban az elektróda egyben a hozaganyag is. Főleg könnyűfém hegesztésére (pl. árbocok, fedélzeti házak, folyékonygáz-tartályok) hegesztésére használják, ha a varrat mérete vagy illesztése hozaganyagot igényel. Vékony alumínium lemezeknél a jobb hozaganyag áramlás és a mélyebb beolvadás érdekében pulzáló ívet (vagy váltóáramú ívet) is szoktak használni.

- CO<sub>2</sub> védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés (MIG – CO<sub>2</sub>)

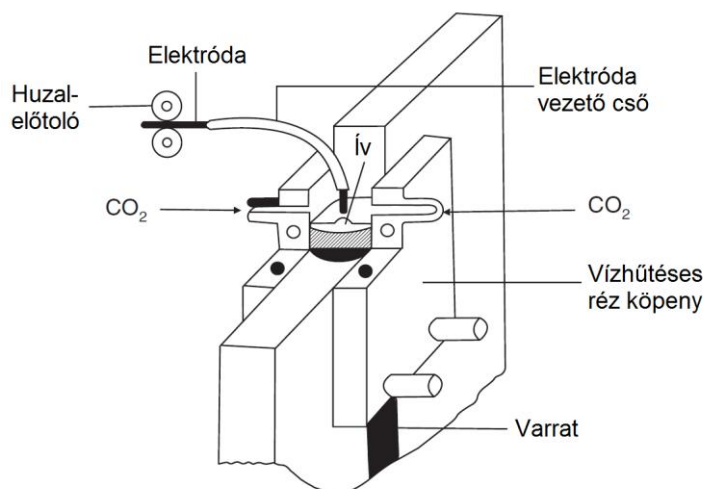
Az argon gáz magas költségei miatt a fogyóelektródás hegesztésnél inkább CO<sub>2</sub> védőgázt szoktak használni. Hátránya, hogy könnyűfém hegesztésénél váltakozó áramú ívre van szükség, hogy az ömledék tetején kialakuló (szigetelő) oxid réteget feltörje. A hozaganyag ilyenkor jól behatol a varratba, de relatív nagy áramerősséggel kell hegeszteni (akár 350A). A váltakozó áramú ívvel csak vízszintes hegesztésre alkalmas, amennyiben minden irányban kell hegeszteni (pl. fej felett), rövidzárlatos ívképzésre van szükség.



2.38. ábra: CO<sub>2</sub> védőgázos, fogyó elektródás ívhegesztő pisztoly a Furtinox Kft.-nél (Budapest)



Fedőpor helyett CO<sub>2</sub> védőgázzal működő berendezések is vannak. Ezzel már a 13-50 mm-es rés is hegeszthető, melyeknek lehet sarkos vagy V kiképzésű lemez éle is. Szekciók függőleges oldalainak összehegesztésére szokták használni.

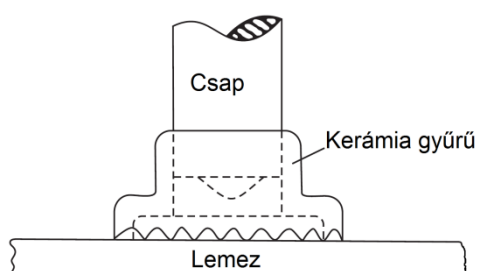


Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.41. ábra: Függőleges, védőgázos ívhegesztés

### 2.7.1.3 Csaphegesztés

Csapok, emelőfülek, álmennyezet tartók sík lemezfelületre történő gyors felhegesztéséhez szokták használni ezt az eljárást. Lényege, hogy a felhegesztendő csap egyben az elektróda, s egy kerámia fej segítségével vezetik rá a felületre úgy, hogy a fedőpor a csap és az acélfelület között van. Amikor a csap a lemezfelülethez elég közel ér, az ív begyullad a poron keresztül, s ezután az ív és az ömledék a salak alatti védelemben van. A csapot a hegesztés során a kellő mértékben belenyomják az ömledékbe. A hegesztés automatikus. A kerámia védőgyűrű egyrészt vezeti a csapot, adagolja a fedőport és védi a környezetet a hőhatástól (pl. fa párnafák az álmennyezet alatt).



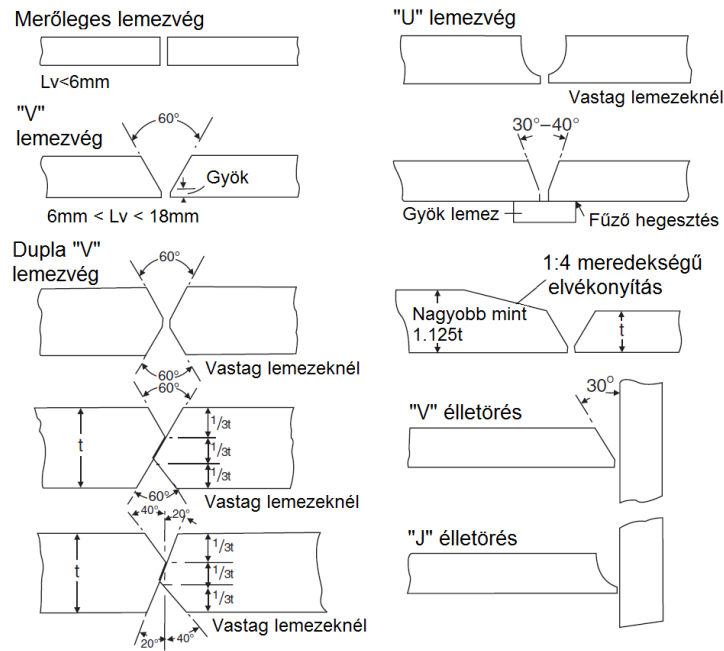
Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.42. ábra: Csaphegesztés

### 2.7.2 Hegesztési technológia

A hegesztési varrat minősége érdekében először a varrat szélét képező lemezvég kialakítása fontos.

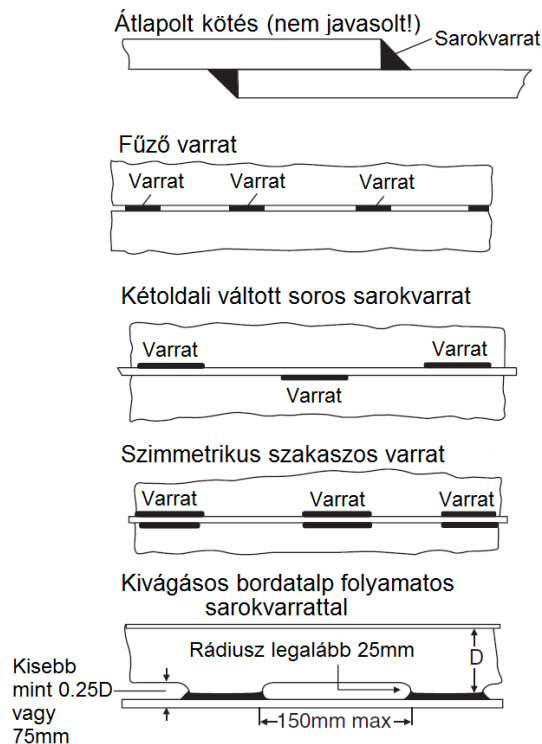




Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.43. ábra: Lemezvég kialakítások hegesztéshez

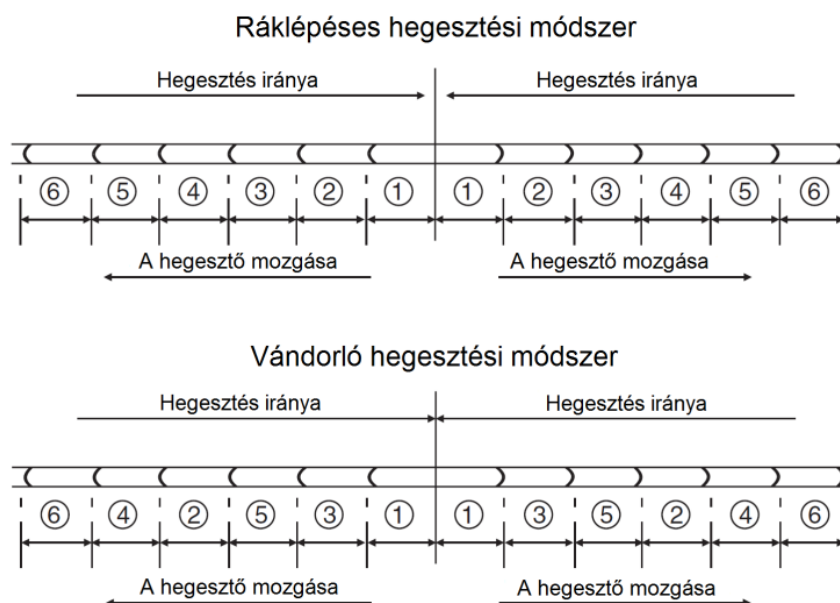
Ez után többféle hegesztési „taktika” létezik, az összehegesztendő munkadarabok leszorításától és a hegesztés mechanikai terhelésétől függően.



Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.44. ábra: Hegesztési varrat kialakítási módok

A hegesztés miatti deformáció elkerülése érdekében az egymáshoz hegesztendő elemek hegesztési sorrendje is fontos. Lemezsávok hegesztésénél alapvetően a ráklépéses és a vándorló hegesztés használatos.



Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.45. ábra: Folyamatos varrat szakaszos képzése ráklépéses és vándorló hegesztéssel

A héjlemezelés hossz és kereszt varratainál a következő szempontok a legfontosabbak: T varratkereszteződéseknél mindig először a keresztvarratot kell végig hegeszteni, utána a hosszvarrat élét újra kell munkálni, majd ezután lehet a hosszvarratot végig hegeszteni, amennyiben először a hossz, majd a kereszt varratot hegesztenék, a keresztvarratban repedés keletkezhetne.

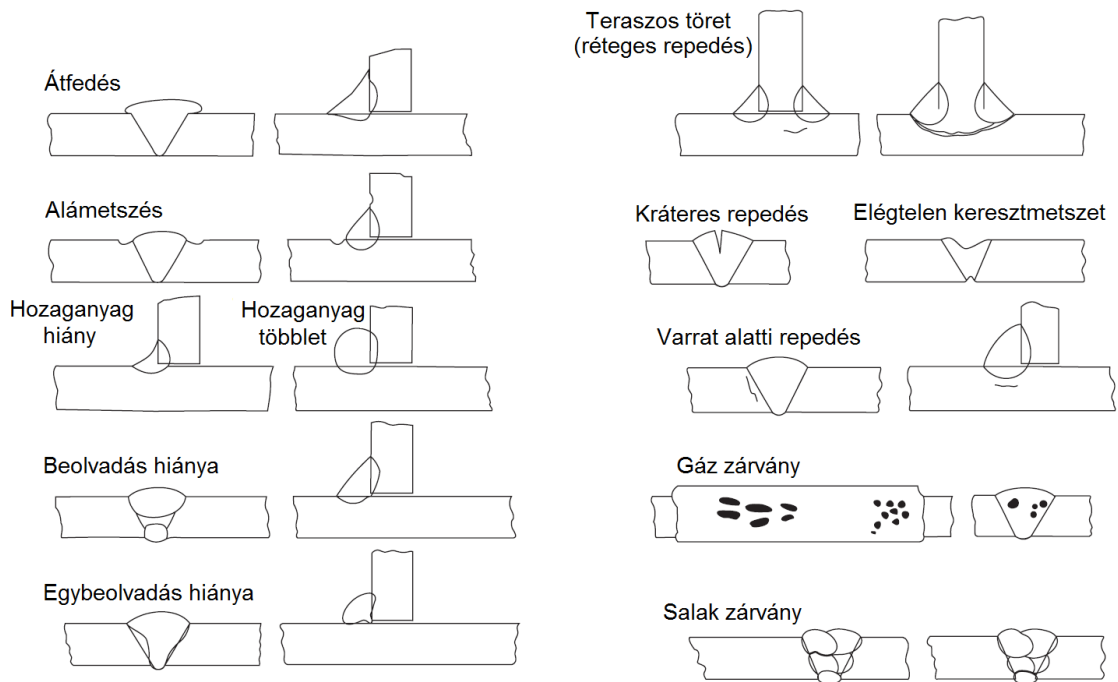
A hajó oldallemezeit mindig a koszorúsavval kezdik és haladnak lefelé, különben az orr és fartőke illesztésénél nehézségek adódnának (elhúzóadás következtében nem illik össze vagy lemezáhagyást kell alkalmazni.)

Javítási munkáknál a lék éle körül a bordákat és hosszmerevítőket 300-375 mm hosszan vissza kell vágni és az új részt 350 mm hosszan csatlakoztatni kell a régihez.

### 2.7.3 A hegesztési varratok ellenőrzése

A hegesztési varratok ellenőrzését csak képzett, auditált ellenőrök végezhetik, s a regiszteri ellenőrzés egyik része.

A jellemző hegesztési hibák a következők:



Forrás: D.J. Eyres, Ship construction

2.46. ábra: Hegesztési varrathibák

A varratok ellenőrzésének többféle módja van:

- Szemrevételezés: a tapasztalt hegesztésben járatos szakemberek sok hibát ki tudnak ezzel a gyors eljárással szűrni.
- Petróleum próba: A varratok repedéseit és vízzáróságát lehet ellenőrizni vele úgy, hogy a varrat egyik oldalát litofonnal befestik, s a száradás után a varrat másik oldalát petróleummal bekenik. A litofonos oldalon figyelik az esetleges átütéseket (itt nem vízzáró a varrat).
- Mágneses vizsgálat: A varratot mágnesessé teszik, majd vasport szórnak rá. A vaspor által kirajzolt mágneses erővonalakból lehet következtetni a varrat belső szerkezetére és a repedésekre.
- Röntgensugaras vizsgálat: A varratról röntgen képet készítenek, s következtetnek a hibákra. Költséges és lassú eljárás, de a legelterjedtebb a hajóépítésben.
- Ultrahangos vizsgálat: A röntgenképes vizsgálathoz hasonlóan ultrahangos képet készítenek a varratról, és ez alapján vizsgálják azt. A röntgenhez képest alaposabb eljárás, mert a kisebb repedéseket is észre lehet venni vele. További előnye, hogy nincs egészségkárosító sugárzás, mint a röntgennél. Viszont lassabb és költségesebb technológia.

A hajóépítés során az osztályozó társaság, a hajótulajdonos megbízottja, és a gyár ellenőrző szakembereinek hajótest összes hegesztési varratát szemrevételezéssel ellenőriznie kell. Ezenkívül szűrőpróbaszerűen (főleg a kritikus helyeken) a varratok egy részét alaposabb ellenőrzési eljárással is megvizsgálják. Az ellenőrzésbe minimálisan bevont varratokat az osztályozó társaság jelöli ki, automata gépsorokkal készített hegesztéseknél 3~5%-át elegendő ellenőrizni.

A hajótest külhájának varratait vízzárás tekintetében, még a vízrebocsátás előtt ellenőrizni kell (az osztályozó társaság csak ez után ad engedélyt a vízrebocsátásra). Ennek szokásos módszere a petróleum próba.



2.47. ábra: Hegesztési varratok ellenőrzése a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína)

A tankokat, tartályokat, és egyéb víznyomásnak kitett zárt alkatrészeket (pl. kormánylapát, tönkcső, kortgyűrű stb.) nyomáspróbázzák, melynek legelterjedtebb módszere a vízpróba (a tankot vízzel feltöltik és meghatározott nyomás alá helyezik).

A csőrendszerek és gáztartályok nagy nyomású ellenőrzése még a műhelyekben történik, a névleges nyomás többszörösével. A hajón összeszerelt csőrendszerek tömítettségét szintén nyomáspróbával, általában a névleges nyomás 1,5-szeresével ellenőrzik (osztályozó társaság előírása szerint).



## 2.8 Összetett alkatrészek gyártása

A hajógyártás során cél, hogy a kész hajótestben ne legyenek feszültségek és deformációk, például a hegesztésből fakadóan. Ezt úgy lehet elérni, hogy az alkatrészgyártás és összeszerelés során az egyes készülségi fázisokban minimális legyen a hegesztés, azaz több elem előgyártása után relatív nagy alkotórészeket kell gyártani, majd ezeket összeépíteni. Ez az úgynevezett szekciós gyártás, amely már az alkatrészgyártásnál, az összetett alkatrészek készítésénél kezdődik.

Az összetett alkatrészek fajtái:

- Lemeztáblák összeállítása és hegesztése tompa varratokkal.
- Tartók összeállítása esősorban sarokhegesztéssel
- Az első kettőbe nem sorolható alkatrészek (pl. kikötőbak, kis gépalapok stb.) összeépítése. Ellentétben az első két típussal, ezek olyan sokfélék, hogy nem szoktak külön gyártósort kialakítani hozzájuk.

### 2.8.1 Lemeztáblák gyártása

A sík vagy tér szekciók részére lemeztáblák gyártása hegesztéssel. A hegesztés minősége a regiszterek által előírt szigorú követelményeknek kell hogy megfeleljen, az automata hegesztések terjedésével a minőséget a hajógyárak magas szintre tudják emelni.

A legnagyobb kihívás a hegesztési deformációk minimalizálása, s nem csak a domborított lemezeknél, hanem a nagyméretű, sík lemeztábláknál is. A rugalmas alakítással még visszaalakítható hibák még elfogadhatóak, de a gyárnak is jobb, ha nem kell utólag, padozaton húzatni az elkészült alkatrészeket.

A lemeztáblák gyártásának folyamata:

1. Lemeztáblák összeillesztése. A hagyományos technológiánál az illesztést úgy teszik meg, hogy a hegesztés közbeni elmozdulások ellenére egy sík tábla alakuljon ki. Nagy szakértelmet igényel.

Automata gyártósoron a gép pneumatikus vagy hidraulikus hengerekkel leszorítja a lemezt, így a hegesztés közben nem tud elmozdulni. Legújabban mágnesesen szorítják le a lemezt, de ekkor stabilizálni kell az ívet (mágneses erőtér vonalai).

2. Fűzőhegesztés: az összeállított lemezeket rövid varratokkal egymáshoz rögzítik.

Fontos, hogy a fűzőhegesztés minősége legalább olyan jó legyen, mint a végleges hegesztés, ugyanis a folyamatos tompavarrat (végleges hegesztés) nem biztos, hogy teljesen átolvastja a fűzőhegesztés varratait, de ha mégis (pl. jó fedőporos hegesztés), akkor is fennáll a repedés veszélye. Lemezleszorításos technológia esetén nem szoktak fűzőhegesztést alkalmazni.

3. Végleges hegesztés folyamatos tompavarrattal.

Mivel a síkszekció gyártásban nem ezen a technológián múlik a termelékenység, gyakran beruháznak kétoldalas hegesztő gépekre a hajógyárak, azonban gyakoribb a gyökvarratok hegesztőszalaggal történő kialakítása. A síklemez gyártósor mérete befolyásolja a síkszekció méretét, ugyanis meghatározza a legnagyobb mozgatható lemeztábla méretét. A gépesített gyártósoron a lemeztábla mozgatás is gépesített (görgőkön) ezért nagy lemeztábla is továbbítható deformáció nélkül.

### 2.8.2 Tartók összeállítása

A hajó keretbordáinak, T tartóinak, gépalapjainak stb. több alapanyagból történő összeépítése. Az alapvető követelmény itt is az alak és mérettűrés, valamint a hegesztési varrat minősége. Ezeket az osztályozó társaságok szigorúan előírják.

A tartók összeállításának folyamata:

1. Az öv és gerinclemezek kivágása és hajlítása lemez alapanyagokból.
2. A tartó elemeinek összeillesztése speciális készülékekben. A készülék feladata az öv és gerinclemezek egymáshoz képesti tájolása függőleges és vízszintes síkban, illetve az elemek egymáshoz képesti rögzítése.
3. A tartó elemeinek egymáshoz rögzítése fűzővarratokkal. E művelet még az összeállító készülékben történik.
4. Végleges hegesztés folyamatos sarok varrattal. Ez már nem az összeállító készülékben, sőt sokszor másik gépen történik.

### 3. A HAJÓTEST ÖSSZEÉPÍTÉSE

#### 3.1 Hagyományos sólyatéri szerelés

A sólyatér a hajógyárak vízparti területe, ahol a hajótestet összeépítik, illetve a hajótest víz alatti részén a javításokat végzik. A sólyatér lehet merőleges vagy párhuzamos a partfallal, mely egyben meghatározza a vízrebocsátás módját is (hosszirányú vagy keresztirányú).

Amennyiben a hajógyár e feladatokat zsilippel elzárt, vízzel elárasztható medencében végzi (szárazdokk), a sólyatér a szárazdokkban van.

Vannak olyan gyárak is, ahol a víz alatti munkákat speciális úszóműben, úgynevezett úszódokkban végzik. Ezek igen drága berendezések, azonban a hajókat sólyázás nélkül, az úszómű ballasztolásával emelik a vízszint fölé, s a sólyatér az úszóművön van.

Legyen szó bármelyik sólyaterről, a gyártás által megkívánt legkisebb alapterületet a hajótest főméretei fogják meghatározni. Ökölszabály a minimális alapterületre: sólyatér hossza= $Loa + 2 \times 1,5$  m, sólyatér szélessége= $B + 2 \times 1,5$  m.

##### 3.1.1.1 Állványozás

A hagyományos sólyatéri szerelés az állványozással kezdődik. Mivel a hajótestet alapalkatrészekből (lemeztáblák, keretbordák, válaszfalak stb.) építik, a sólyatéren meg kell építeni a tőgerendázatból és szerelőállványból álló alépítményt, mely biztonságosan lehetővé teszi a hajó építését. Az állványzat követi a hajó alakját úgy, hogy a hajó kb. 1 m magasan épüljön a talajszinttől.



3.1. ábra: Hagyományos hajóépítés a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína)

A hagyományos állványozás lépései:

1. A hajó méretének megfelelően kijelölik az építési területet és a test középvonalát.
2. Kiepitik a székállásokat, melyhez az altalajt vízszintesre kell egyengetni, s laza talaj esetén állványpadlóval kell leborítani. A székállásokat úgy kell kijelölni, hogy a talajterhelés az építés során ne legyen nagyobb 10~20 kN/m<sup>2</sup>-nél (súlytér talajtól függően). Ez kb. 2,5~3m-es távolságot jelent a súlyszékek között. Ezen kívül a ügyelni kell arra, hogy a székállások válaszfal vagy keretborda alá essenek (semmiképpen ne kerüljenek szabad lemezmezőbe), s szükség esetén egy-két állványt el lehessen távolítani a hajótest alól (pl. festéshez).
3. A súlyszékek felállítása
4. Tőgerendázat felállítása a súlyszékekre, melyet általában fenyőfa gerendákból (kb. 300×300×1200/900) szerelnek össze. A tőgerendáknak egy síkot kell alkotniuk, s feladatuk a súlyszékek összetartása is. A síkot az építés során rendszeresen ellenőrizni kell, s szükség esetén faékekkel be kell állítani.
5. A hajótest építését dinamikus követő szerelőállvány felépítése. Erre az építés kezdeti szakaszában még nincs szükség, azonban az épülő hajóval együtt a szerelőállvány is épül. Általában csőállványból készítik, de Ázsiában gyakran használnak bambusz rudakat is. Fontos, hogy a csövek összeszerelése biztonságos legyen, s az állvány védelmet is nyújtson a hajón dolgozók számára.

### 3.1.1.2 A hajótest gyártása

Az állványozás után kezdődhet meg a súlytérben a hajótest gyártása. Ez több szakaszra bontható, mind szervezési, előkészületi és ellenőrzési szempontból. A hajótest összeszerelésének főbb lépései a következők:

A hajóváz felállítása. Ennek legelső és legfontosabb tevékenysége a gerincfektetés. Általában ünnepélyes keretek között történik e munkának megkezdése, hiszen a hajó valójában ekkor kezd formát ölteni, születésének ez az első, látványos mozzanata. A gerincfektetés technikai okokból is jelentős, hiszen a hajógerinc a fő hossz szilárdságot meghatározó elem, s a hajótest geometriáját meghatározó rész (szimmetria, egyenesség). A gerincfektetés során lefektetik a gerinc lemezsort, és ráhegesztik a gerincet.

Ez után a vízszintes fenéklemezelés tőgerendákra történő fektetése következik, melyen felállítják a hossz és keresztbordázatot.

A hajóváz felállítása után a hajóközéptől kiindulva, az orr és far felé haladva készre hegesztik a hajótest vázszerkezetét.

A következő lépésben méretre szabják és felhegesztik a többi fenéklemezt, majd a hossz és kereszt válaszfalakat, valamint a fenéklemez merevségét meghatározó elemeket (pl. gép-alapok) is beépítik.

Ezt követően kerül sor a hajótest oldallemezeinek beszabására, illesztésére és felhegesztésére, illetve a szilárdságot meghatározó raktárnyílás-keret beépítésére (tartó oszlopok, nyíláskeret).

A fedélzet lemezelését megelőzően beépítik a fedélzeti hossz és keresztmervítőket, s mielőtt ezek készen vannak, a fedélzeti lemezeléssel együtt építik az orr és far rész speciális területeit (bulboorr, farkosár stb.).

Az így elkészült hajótesten kijelölik és megmunkálják a tönkcsövek helyét, s a tengelyvonalak kitűzése után beszerelik azokat.

A test tankok, belső fedélzetek, lépcsők, búvónyílások stb. hegesztése után a hajótestet víztömörégi próbának vetik alá. Az esetleges javításokat követően pedig a hajótest (elsősorban a víz alatti részének) festése következik.



A hajógyár technológiai rendszerétől függően ez után még a belső terek, fedélzeti és gépészeti berendezések beépítése következhet, de alapvetően a hajótest készen áll a vízrebocsátásra.

### 3.2 Szekciós hajógyártás

A mai hajógyárakban már nem a hagyományos sólyatéri hajóépítés szerint dolgoznak, hanem a hajótest előgyártott részeiből építik össze a sólyatérben a hajót. Ennek előnye, hogy a szerkezet gyártásának jó részét műhelyekben, jobb körülmények között, tehát pontosabban, jobb minőségben végezhetik. Megfelelően pontos gyártás esetén a hajótest belső feszültségei is kisebbek lesznek, illetve a hajó átfutási ideje is csökken (akár 20~30%-al), hiszen egyszerre több szekciót is építhetnek. A szekciós hajótest építés feltétele, hogy a műhelyek és a sólyatér nagy teherbírású darukkal legyen felszerelve, és a gyárnak megfelelő berendezésekkel kell rendelkeznie a szekciók sólyatérhez juttatásához is. Ezek a darukapacitások fogják meghatározni az építhető legnagyobb szekció méreteit.

#### 3.2.1 Síkszekciók gyártása

Síkszekciónak nevezzük az alkatrészekből összeépített hajótest-részt, amelynek a lemezmezőre merőlegesen alig van kiterjedése. Ezek lehetnek sík és görbült felületű síkszekciók is. A síkszekciók építése nagy feladat a hajógyárnak, mert jelentős a kapacitás és helyigénye, azonban a szekciógyártások közül ehhez kell a legkevesebb és legkisebb sablon, illetve a gyártás jól automatizálható.



3.2. ábra: Síkszekció a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

##### 3.2.1.1 A síkszekció gyártás technológiai lépései

1. A lemezek vagy az egybe hegesztett lemezmezők alakítása a kívánt alakra (egyengetés, görbült lemezmezők). Erősen görbült felületnél a hidegen domborított lemezeket konduktorban, vagy szekrénysablonban hegesztik össze.
2. Rajzlelek előrajzolása, mely a lemezekre építendő alkatrészek (bordák, gépalapok, búvónyílások stb.) helyét és helyzetét adják meg. Az NC lemezvágó technológiával ez a művelet pontosabbá és gyorsabbá vált, illetve egy része áttolódott az alkatrészgyártásra.

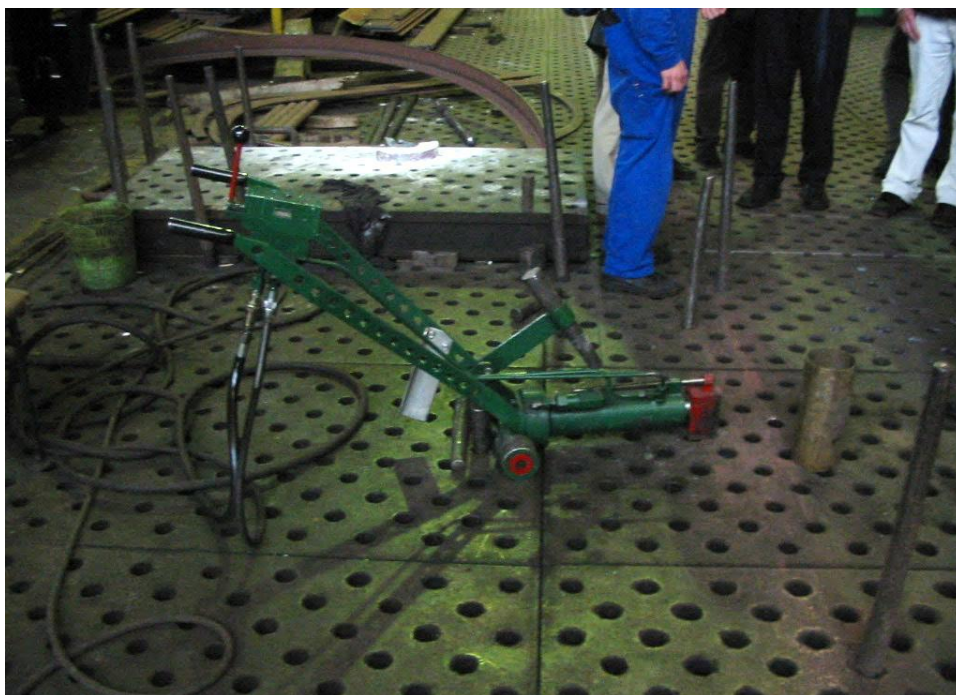
3. Bordák, tartók, keretek stb. szerelése. Sok, egyforma alkatrész szerelése esetén (pl. bordák hegesztése) a hajógyárnak érdemes lehet gépsort beállítani e feladatra. Azonban a szekció készütségi fokának növelése érdekében szoktak kisebb gépalapokat, vízszekrényeket, búvónyílásokat stb. beszerezni, viszont ez már nem automatizálható. A vékonyfalú ( $L_v < 5$  mm), vagy nagyméretű nyitott szekciók nem alaktartóak, ezért itt gyakran alkalmaznak behegesztett támgerendákat, amiket a térszekció képzésnél (vagy a hajótest összeépítésénél) eltávolítanak.

### 3.2.1.2 A síkszekció gyártás készülékei

A síkszekciókat összeállító és szerelő készülékek segítségével gyártják. Ezeket szokták padozatnak is nevezni, s feladatuk a síkszekció alakjának megadása. Alapvető követelmény velük szemben, hogy az alakadás erőinek hatására ne deformálódjanak.

A *SÍK PADOZATOK* a sík lemezekre épülő síkszekcióknál használatosak. Típusai:

- *Öntöttvas padozat*: Nagy méretű öntöttvas táblákból (akár  $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ ) összeállított sík felület, melyen sűrű osztásban furatok találhatóak. Ezen furatokba lehet a különféle lezorító, megmunkáló eszközöket, és a sablonokat rögzíteni. Nagy tömegük, és szilárdságuk miatt nem csak a síkszekciók gyártására, de pl. profilhajlításra is alkalmas munkahelyek. Azonban kialakításuk költséges, mozgatásuk (pl. műhely átépítés) szinte lehetetlen.



3.3. ábra: Öntöttvas a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

- *Rácsos padozat*: Acéllemezekből épített rácsos munkafelület, melyre a síkszekció lemezeit felfektetik, s rögzítik. Az öntöttvas padozatnál jóval olcsóbban és könnyebben kialakítható, azonban a sík munkafelület kialakítása nehéz. Kis tömege miatt merevíteni kell az erőhatások deformáció nélküli elviselése érdekében. Javítása egyszerű.





3.4. ábra: Síkszekcióépítő padozat az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia)

A *KONDUKTOROK* a hajlított vagy domborított lemezekre épülő síkszekciónál használják őket. Kialakításuk a rácsos padozathoz hasonló, de itt a rács acéllemezei a megfelelő alakú metszeti sablonok (szárnsablonok).



3.5. ábra: Orr-rész konduktor az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia)

Főbb típusai:

- *Fix konduktorok*: Összehegesztett rácsszerkezetek, melyekben az egyes szárnsablonok fixen be vannak hegesztve.
- *Cserélhető konduktorok*: cserélhető sablonokból épített konduktor, a kismértékben eltérő szekciókhoz.

- *Állítható konduktorok:* NC vezérlésű támaszok definiálják a lemeztáblák alátámasztási pontjait, így az alakját is. Általában csak összeépítésre alkalmasak, helyi húzatasra, hajlításra nem. Nagy előnyük, hogy a szekciógyártás területigénye csökkenthető általuk.

A borda és tartószerelő gépsorok a hajótest sík lemezfelületeinek összehegesztését és arra a bordák felhegesztését végző berendezések.



3.6. ábra: Bordahegesztő gép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)

A modern hajógyártásban törekednek a tervezők arra, hogy a hajótest minél több sík felületből álljon. A nagy felületeken a sok borda miatt a bordaszerelés és hegesztés a leginkább idő és munkaigényes gyártási fázis. Ennek gyorsítására és a minőség növelése érdekében szoktak a hajógyárak gépsorokra beruházni. Sokféle berendezés létezik, de a módszer szinte mindegyiknél ugyan az. A gép a bordát a tárolóból egy mágneses fejjel veszi ki. Majd függőlegesbe állítás után odaviszi a főportál alá, ahol a pneumatikus leszorítók az optikai beállító készülék segítségével a helyére szorítja a bordát. A gép ezután védőgázos hegesztő készülékkel végig hegeszti a borda-lemez sarokvarratot. A síkszekció gyártósorok, a nagy befektetési költség ellenére is megérik, mert az élőmunka igényt negyedére, a minősített hegesztő igényt tizedére csökkentik. A gépsorokkal a síkszekció gyártás területigénye is a fele csökken.

### 3.2.2 Térszekciók gyártása

Térszekciónak nevezzük azt a síkszekciókból és alkatrészekből összeépített hajótest egységet, mely a határait képező lemezelekkel és merevítő (borda, hosszmerevítő stb.) végződésekkel csatlakozik a további tér vagy síkszekciókhoz. Jellemzője, hogy jelentős háromdimenziós méretei vannak, s alakját nem elsősorban a hajótest lemezelésének formája határozza meg. A térszekciók nem csak szerkezeti egységek, hanem a hajó egy darabját képezik, így az építése során a szükséges csővezetékeket, kábelpályákat és gépalapokat is beépítik. Tömbszekciónak szokás hívni azon térszekciókat, melyekbe a hajótest összeépítése után sem kell további munkálatokat végezni, azaz a gépegységeket is elhelyezik benne, és a belső burkolatok is véglegesek. Például a lakóterekbe beépített komplett vizesblokk egység is tömbszekció.





3.7. ábra: Térszekció-gyártás félig fedett műhelyben a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

#### 3.2.2.1 A térszekció-gyártás technológiai lépései:

1. Síkszekciók és alkatrészek illesztése és fűzése
2. Az alkotórészek hegesztése
3. Egyengetés, méretellenőrzés, javítás
4. A hegesztések tömörségi vizsgálata
5. Gépegységek, csővezetékek stb. beszerelése
6. Konzerválás, festés
7. A térszekció sólyatérre (vagy testszekcióhoz) szállítása

#### 3.2.2.2 Térszekció-típusok

##### *ALKATRÉSZBŐL ÉPÜLŐ TÉRSZEKCIÓK*

Amennyiben a hajótestnek csak kis részét lehet síkszekciós előgyártásban legyártani (pl. rövid hengeres középrésszel rendelkező folyami, vagy kis tengeri hajók), a térszekciók nagy részét a lemez, profil és összetett alkatrészekből építik meg. Általában fix vagy cserélhető betétlemezes (szárnysablonos) konduktorban építik ezeket a szekciókat, azonban a betétlemezek relatív egyszerű cserélhetőségét érdemes biztosítani, mivel elhasználnának a rögzítő hegesztések révén. A konduktorok merevsége különösen fontos, hiszen nagyméretű acélszerkezet épül bennük, s jelentős deformáció nélkül el kell viselnie a lemezek és profi-  
lok húzatásával, egyengetésével és rögzítő hegesztésével járó feszültségeket. Az alkatrészekből épülő térszekciók konduktorainak súlya a beleépített acélszerkezet súlyának 25~30%-a.



3.8. ábra: Térszekció építése alkatrészekből a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

Az alkatrészekből épülő térszekció építési folyamata:

1. A külhøj domborított lemezeinek illesztése és egyes lemezek konduktorhoz húzatása. A hagyományos sólyatéri hajótestépítéssel szemben itt először a csatlakozó lemezfelületeket (pl. fedélzet széle) pozicionálják, hiszen a szekció illesztésénél ezek a méretek lesznek meghatározóak.
2. A konduktorba rögzített lemezek fűző, majd végleges összehegesztése. A deformációk és belső feszültségek miatt nagyon fontos a helyes hegesztési sorrend.
3. Bordák, merevítők illesztése és hegesztése
4. Kereszt- és hosszfalak, szerelő keretek, tankok, gépalapok illesztése és hegesztése

#### SÍKSZEKCIÓBÓL ÉPÜLŐ TÉRSZEKCIÓK

A modern hajógyártásban a síkszekciókból történő térszekció építésre törekcszenek, mert a kisebb egységek mozgatása könnyebb, illetve gyártásuk több műhelyre (akár külső beszál-  
lítóra) osztható szét. A nagyméretű térszekciót az előgyártmányokból könnyebb és gyorsabb elkészíteni (kevesebb munka van vele). Nagyon fontos viszont az alak és mérethelyes gyártás, mivel a hibák az összeépítés során összeadódnak, illetve a nagy méret ráhagyások lemunkálása nehezebbé teszi és lassítja a gyártást.

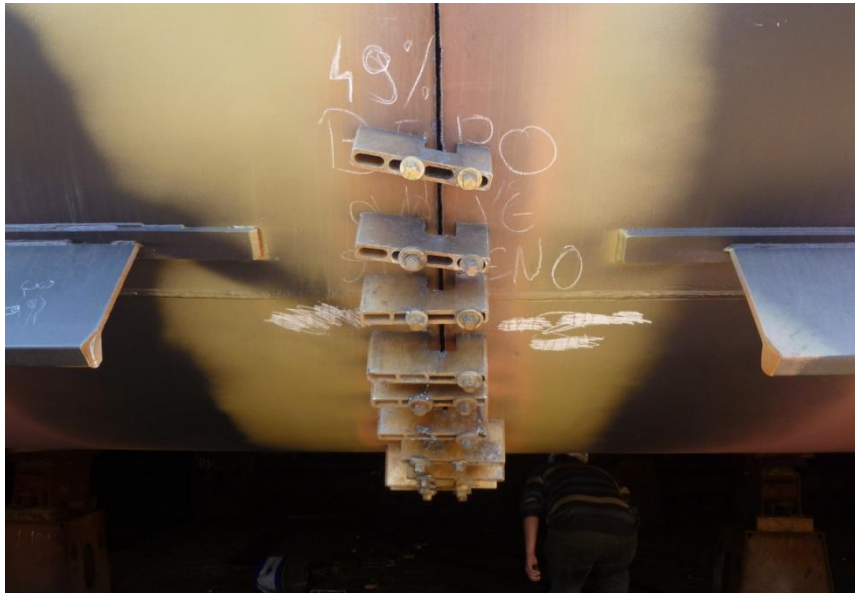


3.9. ábra: Szekciók összehúzatása a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

Minden térszekciónál egyedi építési sorrendet írnak elő a technológusok, de az általános sorrend a következő:



1. fenékszekció
  2. oldalszekció
  3. keresztfal és hosszfal szekciók (fontos szerep az alakadásban és alaktartásban)
  4. fedélzeti szekció
- A síkszekciókból épített térszekciókat is készülékekkel szerelik össze.



3.10. ábra: Szekciók összeillesztése és hegesztése az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország)

*Alátámasztó készülékek, padok, konduktorok:*

Mivel a síkszekciók elég merevek, elegendő néhány bázispont pontos megtámasztása. Ezt a térszekció méretétől függően lehet rácsos padozattal vagy egyszerűen a síkszekciók sóslyaszékekre történő állításával.



3.11. ábra: Szekcióépítő padozat a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

Erősen görbült felületű térszekciókat lehet rácsos konduktorban is gyártani, azonban ezeknek nem kell az alakot meghatározniuk. Ezért a szárnyasablonok bennük ritkábbak, a kon-

duktor szilárdsága kisebb, viszont a benne épített acélszerkezet tömegének csak 10%-a a saját tömegük, így jóval olcsóbbak a korábban megismert konduktoroknál.

#### *Forgatható térszekció-összeállító készülék*

A készülékbe épített utközők megadják az egyes szekciók pontos helyzetét, és szükséges méretét (ráhagyások könnyen lemunkálhatóak), illetve szilárdan rögzítik a síkszekciókat. A készülék forgatása révén a hegesztés mindig vízszintes helyzetű lesz. Jól automatizálható készülék, azonban igen költséges beruházás, és a forgatás energiaszükséglete miatt a legnagyobb térszekció méret is korlátozva van.

### 3.2.3 Hajótest összeépítése szekciókból

A szekciós hajógyártásnál a hajótest összeépítése történhet a sólyatéren, vagy a sólyatérhez közeli, speciális hajóépítő állásokon. Mindkét esetben a hagyományos sólyatéri szerelésnél megismert állványozás szükséges, annyi különbséggel, hogy a tőgerendák építése nem szükséges, mert a hajótestet sólyaszékeken építik (a sólyatér vagy építőállás általában betonozott, egyenes felület).

A sólyatéri építés előnye, hogy a hajó közvetlenül a vízrebocsátás helyén épül, azonban így az építés során foglalja a sólyát. Az építőhelyeken történő összeszerelésnél viszont meg kell oldani a hajótest sólyatérre történő szállítását, ahol a vízrebocsátás történik. Amennyiben ezt jól meg tudják oldani, sólyatér kihasználtsága nagyban javítható, így a gyár termelékenysége is megtöbbszörözhető.

#### 3.2.3.1 Hajótest összeépítési stratégiák

##### *PIRAMIS ELVEN TÖRTÉNŐ ÖSSZEÉPÍTÉS*

A hajótest közép részén kezdik a térszekciók összeépítését. Miután itt egy piramis alakú hajórészt készítenek, a hajó orra és fara felé haladva építik hozzá a további szekciókat. A piramis elvű építést mindig a fenékszekciókkal kezdik és a fedélzeti vagy raktárnyílás szekciókkal fejezik be. Általában a far felé gyorsabban halad az építés, mivel itt a gépészeti berendezések beszerelése a hajótest összeépítése után még sok időt igényel. Amennyiben az orr és farrész külön (pl. konduktorban) készül, akkor ezeket a hajótest összeépítés legutolsó fázisban hegesztik a középső részhez. A stratégia nagy előnye, hogy a hajótest belső feszültségei a lehető legkisebbek, és a szekcióhibák összeadódása ellenére sem lesz nagy a geometriai hiba.

##### *SZIGET ELVEN TÖRTÉNŐ ÖSSZEÉPÍTÉS*

Ezt csak a fejlettebb gyártástechnológiáknál alkalmazzák, ahol a szekciógyártás nagyon pontos. Egymástól pontos távolságban több helyen kezdik el (kisebb piramisokkal) a hajótest építését, s e szigetek közé építik a hajótestet alkotó többi szekciót. A szigetek közé eső szekciókat nagyon pontosan kell legyártani, hogy ne kelljen sok illesztési megmunkálást végezni. A stratégia előnye, hogy a hajó több fronton épül, s így nagyon rövid ideig foglalja a sólyát. A hajótest szerkezet belső feszültségei is kedvezőek, azonban a szigetek megkezdésekor az első térszekciókat nagyon precízen kell elhelyezni, s a gyártási pontosságot is szigorúan tartani kell.

##### *TESTSEKCIÓKBÓL TÖRTÉNŐ ÖSSZEÉPÍTÉS*

Ennél a stratégiánál több térszekció összeépítéséből testszekciókat alkotnak (műhelyben vagy sólyatéren), majd a hajó orr vagy farszekciójából kiindulva hozzáillesztik (húzzák)



következő testszekciót egész a végéig. Az egyes testszekciókat lehet piramis vagy sziget elven is építeni.

### 3.2.3.2 A szekciók szállítása és emelése

Meglévő hajógyárnál a szekció méretét az adott műhelyben vagy szerelőpadon rendelkezésre álló mozgató berendezés teherbírása határozza meg. A hajógyár kapacitása az emelő berendezésektől függ. Új hajógyárnál pedig a térszekció építést kiszolgáló daru teherbírását a beemelendő legnagyobb szekcióra méretezik.

A nem eléggé merev térszekciót a konduktorral együtt viszik a sólyatérre, és a hajótest összeépítésénél végig a konduktorban marad.

A szekcióépítésnél használatos daru típusok:

- fél bakdaru
- bakdaru
- híddaru
- portáldaru
- kalapácsdaru, főleg a javítással foglalkozó üzemekben.

Lehetőség szerint a szekciót a sólyatérbe daruval viszik be, de sokszor túl nehéz a szekció, vagy nincs darupálya összeköttetés az építő hellyel. Ekkor más megoldás kell, pl.:

- Légpárnás emelőegység: ekkor a konduktornak különlegesen kiképzett aljúnak kell lennie, s a térszekciót a konduktorral együtt mozgatják.
- Emelő szerkezettel és kerekkel ellátott sólyaszékek: Nem ezeken a székeken épül a hajó, ez csak az építőhelyek közti mozgatáshoz szükséges. A szállításhoz a kocsiknak sín pályát és csörlős mozgató berendezéseket kell kiépíteni.



3.12. ábra: 150t teherbírású hajómozgató kocsik a hajó sólyatérre történő szállításhoz

- Gumikerekes kocsik: A térszekció műhely és a sólyapálya között mozgó soktengelyes különleges kocsik, melynek egyedüli feladata a térszekció e két pont közötti mozgatása.

Igen költséges beruházás, és a szekció le és felrakását külön darunak kell végeznie.



3.13. ábra: Szekciómozgató kocsi a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország)

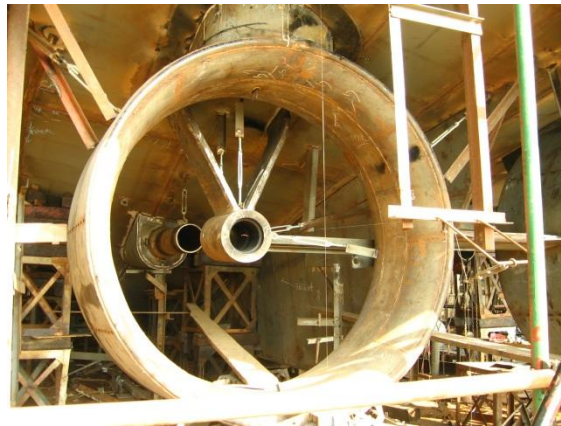
### 3.3 Tengelyfektetés

A hajót meghajtó főgép élettartamát, ezáltal a hajó megbízhatóságát legjobban meghatározó építési munka a gépalapozás és tengelyfektetés. A hajógyártásban a főgépet és a hajócsavart a hajógyárak általában beszállítóktól veszik, de ezek beépítése így is az egész hajóépítési folyamaton végighúzódó tevékenység. A gépalapozás és tengelyfektetés a műhelyekben végzett előgyártással kezdődik (gépalap gyártása, tengelyek, tönkcső stb. forgácsolása, és szerelése), a gépalap és a tengelyvezeték hajótest részét képező alkatrészeinek beépítése a szekciógyártásban történik. A sólyatéren helyezik be a főképet és a hajócsavartengelyt, s a vízi szereléskor állítják be a tengelyrendszert véglegesen (a hajótest a vízben deformálódik a sólyatéri alátámasztáshoz képest).

Az összeépített hajótestbe a következő lépésekben történik a tengelyrendszer beépítése:

1. A munkához a hajót vízszintesbe kell állítani, melyhez teodolitot, üvegcsöves vízszintmérőt és fa ékeket használnak. A vízszintesre beállított hajóra bázisvonal rajzolnak, melynek rendszeres ellenőrzésével biztosítják a hajó vízszintes állapotát a szerelés során.
2. Kitűzik a tengelyrendszer elméleti középvonalát. Ere azért van szükség, hogy meg lehessen határozni a tengelyrendszer támaszok (csapágyalapok), főgép alap, toló csapágy alap, a tengelykilépés és a tengelybak pontos helyzetét. A hajógyárakban két módszer terjedt el:

- *Acélhuzalos kitűzés:* A tengelyvezeték elméleti végeire a zsinórt tartó szerkezeteket hegesztenek, melyek között az acélhuzalt súlyokkal kifeszítik úgy, hogy a belógása legfeljebb 2 mm legyen. A tartószerkezeteket mozgató csavarral lehet függőleges és oldal irányban állítani, ezáltal az acélhuzal pontosan az elméleti középvonalon fog futni. A beállítandó szerkezetek helyzetét az acélhuzalhoz képest határozzák meg, s a rögzítés után a zsinórt kiszerelik (de szükség esetén ugyan oda vissza lehet húzni).



3.14. ábra: Tengelyvonal kitűzés a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína)

- *Fénysugaras kitűzés:* Az acélhuzalos kitűzéshez hasonló, de a zsinór helyett fénysugár jelöli a tengely középvonalát. Nagy előnye, hogy nincs belógása a tengelyvonalnak, és a hajótest vízszintesből történő elmozdulása nem befolyásolja a már kitűzött vonalat. Hátránya viszont, hogy a kitűzés és az alkatrészek beállítása bonyolultabb, mivel nincs egy materiális középpont, s a szerelési műveletek közben eltakarhatják a fénysugarat.
3. Főgép alapok, csapágyalapok szerelése és bemérése
- A hagyományos hajóépítésben* a főgép alapokat a műhelyben sablonok alapján előgyártják, és összeállító készülékben összeszerelik. A sólyatéren az egész gépalapot bemelik a hajótestbe, beállítják az elméleti tengelyvonalhoz és folyamatos méretellenőrzés mellett behegesztik. A felfekvő felületeket csiszolással munkálják meg az ellenőrző laphoz képest 0,05 mm pontossággal. Végül a géplefogató csavarok furatait kifűrják.
- A szekciós hajóépítésben* a főgép alap együtt készül a hajótesttel a konduktorban. Ehhez az szükséges, hogy a konduktorban a tengelyvonal előre ki legyen jelölve. Előnye, hogy a hossz és keresztbordák, valamint az előgyártásban készült gépalap találkozási pontjai pontosan betarthatók (pontosabb mérettartás, kevesebb illesztés, rövidebb munkaidő).
4. Tönkcső fűrés
- A tönkcső egy darabból, vagy elemekből hegesztve, a homlok és a belső palástfelületekre oldalanként (általában 5 mm) ráhagyással készül. A ráhagyások az össze és behegesztéskor keletkező elhúzóerők okozta hibák kiküszöbölését szolgálják. A hajótestbe illesztéskor a kitűzött tengelyvonalról való eltéréseket az acélhuzalra fűzhető lemeztárcsákkal, vagy a fénysugárhoz beállítható tárcsával mérik le. A tönkcső homloklapfelületére ellenőrző kört rajzolnak, s a tárcsák eltérését mérik. Amikor az hiba a megengedett alatt van, behegesztik (vagy újabban beragasztják) a tönkcsövet, s egy különleges fu-

ratmegmunkáló szerszámmal megmunkálják a tönkcső csapágyak, tömszelence, és a bakcsapágy illeszkedő felületeit is.

A furatmegmunkáló szerszám is az ellenőrző körök segítségével állítható be.

A fúrókészülék felszerelésének menete:

- Az ellenőrző köröket berajzolják.
- A fúrókészüléket a hajófar alá szerelik.
- A fúró rudakat összeszerelik és görgős bakok segítségével a tengelybakon keresztül a tönkcsőbe húzzák.
- A hajótestre szerelik a fúrókészülék tartócsapágy házait, majd beállítják a tengelybe a fúró rudat.
- Felszerelik a késtartó szánt és össze kötik a fúró rudat furatmegmunkáló gép hajtóművével.
- A késtartóba rajztűt fognak és az ellenőrző körökhöz beállítják a fúró rudat, a tartócsapágyak vízszintes és függőleges állításával.
- A beállítást prizmás talapzatú műszerrel is ellenőrzik.
- Rajztű helyett forgácsoló szerszámot fognak a késtartóba.
- Nagyoló fogásokkal, megközelítik a kívánt méretet, majd egy simító fogással készre munkálják. Végül leoldalazzák a homlok felületeket.
- A tönkcső szilárdsági ellenőrzése vízpróbával, 0,4MPa túlnyomással történik (osztályozó társaság előírása szerint).

## 5. Tengelyfektetés

A tengelyfektetés a sólyatéren indul és a vízi szerelésnél fejeződik be.

*Műveletek a sólyatéren:* beszerelik a tengelybak csapágyat és a tengelykilépés csapágyát (gumi vagy más anyagú csapágy). Befűrik ezek rögzítő csavarjait is. Behúzzák a csavartengelyt a tönkcsőbe, majd felszerelik rá a tömszelencét, a belső tartócsapágyat és a tengelykapcsolót. A hajócsavart és a rögzítő menetes sapkát is a sólyatéri szerelésnél teszik fel és rögzítik a hajócsavar tengelyen.

*Műveletek a vízi szerelésnél:* beemelik a főgépe, illetve a közbenső tengelyeket t (ha ezt nem tették meg a sólyatéren). A hajótestet üzemi úszáshelyzetbe hozzák, hogy az alátámasztás változás (sólyatér – víz) miatti méretváltozások, deformációk kijöjjenek.

A hajótesten belül, a közbenső tengelyek fektetése mindig a már beszerelt csavartengelytől indul.

*Tengelybeállítás tengelykapcsoló-félhez szerelt készülékkel:* A készülék mérőórából és felfogó részből áll. A beállítandó tengely 90°-onkénti elforgatása közben méri a kerületi eltolódást és a tengelytörést, majd a tengely állványainak módosításával beállítják a megfelelő helyzetet (tengelyeltolódás max. 0,3 mm, tengelytörés 0,15 mm/1000 mm). Megméri és legyártják a tartócsapágyak alá illesztendő alátéteket, s ezekkel a tengely csapágyházait rögzítik. Ugyan így állítják be a többi tengelyt és a főgépet is. A tengelykapcsoló-félhez szerelt készülék hátrányai a következők:

- Tengelyfektetéskor a tengelykapcsoló feleket állítják egymáshoz és csak közvetve a tengelyeket.
- A tengelykapcsoló felek is megmunkálási és szerelési hibával terhelték.
- A tengelyeket méréskor forgatni kell



*Tengelyfektetés optikai műszerrel*

A csavartengelyre a prizmás készüléket szerelnek (kerületi eltolódás mérés) és az autokollimációs távcsövet. A következő tengelyt a tartócsapágyakkal és a szerelt tengelykapcsoló felekkel állítható állványra teszik, majd a kerületi eltolódást beállítják (a készülék forog, nem a tengely). A tengely másik végére szerelik a síktükröt és a távcső segítségével beállítják a szögtörést a tükörnél lévő csapággal. Ellenőrzik a kerületi eltolódást. Csapágy alátétek, tengelyrögzítés és haladnak tovább a következő tengelyre vagy a főgépre. A főgépnél a beállítás után még ellenőrizni kell a főtengely esetleges görbületét, ezt a forgattyúcsapok ellensúlyai közötti távolság forgatás közbeni változásának (sonkalégzés) mérésével teszik meg.

## 4. VÍZREBOCSÁTÁS, VÍZI SZERELÉS

### 4.1 Vízrebocsátás

A vízrebocsátás izgalmas és ünnepélyes esemény a hajógyár életében, a hajó önálló életének kezdete. A hajóépítés minden résztvevője számára jelentőséggel bír. A vízrebocsátásra az osztályozó társaság adja meg az engedélyt, amennyiben az építés során végrehajtott vizsgálatok (pl. varratok tömörségi próbája, festékréteg ellenőrzése stb.) kielégítő eredménnyel zárultak.

A vízrebocsátás műveletét komolyan elő kell készíteni, mert a legkisebb hiba is a hajó sérülését (szélsőséges esetben megsemmisülését), több hetes többletmunkát, s így többletköltséget okozhat. Nagy kihasználtságú sólyatereknél egy hajó hibás vízrebocsátása kihat a további hajókra is. Fontos tehát a vízrebocsátás alapos előkészítése.

#### 4.1.1 A vízrebocsátás előkészítése

Az alábbi felsorolás a vízrebocsátás előkészítésének főbb lépéseit mutatja be a hagyományos hossz vagy keresztirányú csúsztatásnál. Azonban a feladatok jó része a száraz-, vagy úszódokkal történő vízrebocsátásnál is megjelenik.

- Rendezni kell a hajótest és a vízpart közötti területet.
- El kell távolítani a vízrebocsátást akadályozó elemeket (pl. hegesztőgépek, sólyaszékek, építési törmelék stb.)
- A hajóépítés során használt állványzatot le kell bontani (partról is, hajóról is).
- Amennyiben még nincs kiépítve a sólyapálya, ki kell építeni a hajótest alá, a vízparton és amennyire szükséges a vízben is. A pálya lejtésének biztosítania kell, hogy a hajó biztosan végigcsússzon a rajta, de a vízbe érkezéskor sebessége ne legyen túl nagy. A lejtés ezért nem lehet nagyobb 1:8-nál (kb. 7°). A kiépítés során sólyapálya párhuzamosságát biztosítani kell keresztösszekötéssel, különösen a keresztirányú vízrebocsátásnál.
- A sólyapálya és szánkó régebben vörösfenyőből készült, de ma sok helyen acélból hegesztett pályát és acél szánkót vörösréz csúszófelülettel alkalmaznak. A megfelelő csúszás miatt zsírral kenik. A vízrebocsátás fajtájától függően a pályát a víz alatt is folytatni kell. A sólyapályák számát és elhelyezését a hajó súlya illetve a sólyatér talaja határozza meg. Dunai viszonylatban ökölszabályként kezelhető, hogy a sólyaszánkó terhelése legfeljebb 150kN/m<sup>2</sup>, a sólyapályáé pedig legfeljebb 20kN/m<sup>2</sup> legyen. Persze kiépített, és gépesített sólyatereknél a sólyakocsik és a pálya terhelése is jóval nagyobb lehet.
- A hajótest alá kell húzni a sólya szánkókat (vagy sólyakocsikat), melyeken állva fog lecsúszni a hajó a pályán.
- Kötelekkel, kötélhurkokkal, vagy a sólyaszánkók rögzítésével biztosítani kell, hogy a szánkókra történő átterhelés után ne induljon meg a pályán. Kötelekkel vagy kötélhurkokkal történő kikötésnél a hosszirányú vízrebocsátásnál legalább két, keresztirányúnál pedig a pályaszám felének megfelelő számú kötéllel szokták kikötni a hajót. A köteleket pillanatoldású elemekkel a parton rögzített feszítőcsörlőkhöz kötik, a sólyaszánkók

rögzítése pedig gyorsoldású (sokszor távvezérelt) kapcsokkal történik. Gépesített sólyapálya esetén a sólyakocsikat mozgató csörlők mechanikus reteszelve akadályozza meg a hajó megindulását.



4.1. ábra: Sólyaszánkó kioldó szerkezet bekötött és nyitott állapotban a Severnav hajógyárban

- A vízrebocsátás előkészítése a hajó sólyaszánkókra vagy sólyakocsikra történő átterhelésével zárul.



4.2. ábra: Sólyaszánkóra átterhelt hajó a Severnav hajógyárban (Szörénytornya, Románia)

- Ekkor a sólyaszánkókra sólyaszékekből, gerendákból, fa ékekből emelvényt építenek úgy, hogy a szánkó befeszüljön a hajótest alá. Ezt követően a hajót az építés során alátámasztó sólyaszékeket egyenként kisserelik. Mivel a hajó még mindig az építési sólyaszékeken áll, eltávolításukhoz a rajtuk lévő fa ékeket kiütik. Azonban vannak hajógyarak, amik az építési sólyaszékek tetejére már a szekciók elhelyezésekor menetes vagy homoktöltéses, a sólyaszék eltávolítását lehetővé tevő szerkezetet tesznek.





4.3. ábra: Homoktöltéses alátámasztó elem a sólyaszék tetején az Uljanik hajógyárban



4.4. ábra: Menetes alátámasztó elem a sólyaszék tetején a Severnav hajógyárban

- A hajón minden szabadon mozgó berendezést rögzíteni kell, még a kormánylapátot is. Különösen hosszirányú vízrebocsátásnál fontos, hogy előkészítsék a hajó szabad kifutását lassító horgonyokat (horgonyok és láncok felkötése a habvédre, láncvégek rögzítése). A sólyaszánkókat és a rajtuk lévő felépítményt kötelekkel lazán a hajóhoz kötik, hogy a vízrebocsátás után ne vesszenek el.
- A vízrebocsátást a sólyamester vezényli le. A végső ellenőrzések után a hajótestet rögzítő kötelek, vagy a sólyaszánkó kioldó szerkezetéhez (gépesített pályánál a mozgató csörlőkhöz) néhány főből álló kioldó brigádok állnak. Ellenőrzik a hozzájuk tartozó sólyapályát, és a kioldó szerkezetet. Amennyiben mindent rendben találtak, jelzik a sólyamesternek, hogy a vízrebocsátás részükről megkezdődhet. Miután minden kioldó és vizsgáló csoport készenléletet jelzett, a hivatalos ceremónia megkezdődhet, minek a végén a sólyamester jelzésére a kioldó szerkezeteket nyitják, s a hajó lecsúszik a pályán.





4.5. ábra: Súlyakocsi kioldó brigádok vízrebocsátásnál a Severnav hajógyárban

- Miután a hajó megállt a vízen, s felúszott a sólyaszánkókról, a hajógyár rendezőhajói a szerelőpartfalhoz vontatják.



4.6. ábra: Rendezőhajó munkában a vízrebocsátás után a Severnav hajógyárban

#### 4.1.2 A vízrebocsátás különféle módszerei

##### HOSSZIRÁNYÚ VÍZREBOCSÁTÁS

Elsősorban a tengerparti hajógyárakban szokásos módszer, ahol a hajó szabad kifuttatására kellő mélységű, nagy vízterület áll rendelkezésre. Nagy előny, hogy a sólyapálya nem fog-

lal hosszú partszakaszt, így a hajógyárnak két-három sólyapályája is lehet. Viszont a pályát a víz alatt is folytatni kell, aminek kiépítésére a tengerfenéknek is alkalmasnak kell lennie. A sólyatéren a hajót a pályával párhuzamosan, farral a víz felé építik, mivel vízszintes építésnél a hosszú hajótestnél nagyon magas alátámasztásokat kellene alkalmazni a farrészen. Ebből fakad, hogy a szekciók összeszerelésekor nem vízszintezéssel, hanem teodolitos beméréssel történik az összeillesztés. A hajótestet általában két kötélhurok tartja, miután föllazítják a sólyaszánkók reteszelését. A hurkokat pillanatoldó készülékkel (egér), a sólyamester vezényszavára oldják. Vannak olyan rendszerek, ahol a szánkókat elektromágneses ékek tartják, de az ilyen ékeknek nagyon üzembiztosnak kell lenniük, mert ha 1 szánkó nem mozdul el, a hajótest nem indul el, vagy befeszül a pályán. A hosszú kifutás ellen a hajót kisebb horgonyokkal és kötelekkel fékezik. A vízrebocsátás után el kell távolítani a hajótest alól a szánkókat és a gerendákat, amennyiben azok nem úsztak fel maguktól. A hosszirányú vízrebocsátás nagy előnye, hogy a még szinte üres hajótest stabilitása biztosítva van, s a feltámasztás fokozatos átterhelésekor fellépő hajlító feszültségen kívül a hajótestet nem érik igénybevételek.



Forrás: [www.kaiserpermanentehistory.org](http://www.kaiserpermanentehistory.org)

4.7. ábra: Klasszikus hosszirányú vízrebocsátás



A hosszirányú sólyapályák általában nem alkalmasak hajótestek kiemelésére, azaz hajójavításra.

A hosszirányú vízrebocsátásnál meg kell említsük az elsősorban a kisebb ázsiai hajógyárak által használt gumitömlős vízrebocsátási módszert. Ekkor a sólyaszékeken épülő hajó alá nagy átmérőjű gumitömlőket raknak, melyen hajót a folyópart kis meredekségű, nagyjából rendezett részére vontatják. A hajótestet a partra merőlegesen, a tömlőket azzal párhuzamosan állítják be, s a hajót hagyják belegurulni a vízbe. Igen egyszerű, de nehezen kontrollálható módszer. Bármilyen hiba esetén a hajótest jelentősen sérülhet, és általában a vízrebocsátás helyszíne alacsony infrastruktúrával rendelkezik, így nincs lehetőség a sérült hajó kijavítására.

#### *KERESZTIRÁNYÚ VÍZREBOCSÁTÁS*

Főleg a folyami hajógyárakban használják ezt a módszer, mert a meder és a vízterület nem alkalmas a hajó kifuttatására. A sólya jelentős vízparti területet igényel, ezért az ilyen hajógyárak inkább a part mentén nyúlnak el, semmint a szárazföld belseje felé terjeszkednek. A hajókat vízszintes helyzetben építik a sólyán, ami a szekciók illesztésekor, és ellenőrzéskor könnyebbséget jelent. Viszont a keresztirányú vízrebocsátásnál sok (akár 8~10) sólyapályára is szükség van, melyek párhuzamossága különösen fontos, hiszen a szánkók befeszülhetnek, s a hajó megáll a pályán. Amellett, hogy a vízrebocsátás során megálló hajó rossz ómen, a pálya és a hajótest is sérülhet, illetve több napos munkát is jelenthet leszabaddítása. Ugyan ezen okokból igen fontos a sólyaszánkók vagy kötélhurkok kioldóinak egyszerre működtetése.



4.8. ábra: Keresztirányú sólyapálya az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia)

A hajótest szempontjából az oldalirányú vízrebocsátás stabilitási próba is, hiszen ha a hajótest nagy sebességgel érkezik a vízbe, komoly dőlésekre lehet számítani. A nagy dőlések különösen a széles hajótesteknél (pl. úszódaru) lehetnek veszélyesek, mivel a dülöngélő hajótest ráüthet a sólyaszánkókra vagy a sólyapályára. A hajótest sérülhet, rosszabb esetben vízjárása is károsodhat (lékesedik).

A keresztirányban vízre bocsátó hajógyárakban ezért igyekeznek a sólyateret gépesíteni, a hajókat csörlőkkel jól szabályozott sólyakocsikon a vízbe engedni. Nagy előnye a gépesí-

tésnek, hogy a vízből kiemelés sem okoz gondot, azaz a gyár hajójavító is lehet egyben. Viszont a gépesített súlyapálya nagy beruházást jelent.



4.9. ábra: 600t teherbírásúsúlyakocsik a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína)

A keresztirányú vízrebocsátásnál háromféle módszert különböztetünk meg.

*Csúsztatásos vízrebocsátás:*



Forrás: Dr. Benedek Zoltán fényképtárája

4.10. ábra: A Ganz Danubius hajógyár utolsó tengeri hajójának vízrebocsátása (Budapest, 1992)



A legbiztonságosabb módszer, mivel a sályaszékek alátámasztó erejét fokozatosan veszi át a víz a pályán történő végighaladás közben. Veszélyes viszont a nagy sebességgel történő vízrebocsátás, mivel a sályaszánkók felépítménye idejekorán összeomolhat, így a hajótest rázuhanhat a szánkókra. Azonban ez a módszer az egyedüli gépesíthető keresztirányú vízrebocsátási módszer, amelynél a hajó vízrebocsátása a legbiztonságosabb.

Megvalósíthatósága a mederfenéktől függ, hiszen az enyhén lejtős sályapályát a vízben is folytatni kell olyan hosszan, amennyire a hajó (+sályaszánkók) merülése megköveteli. Ebből fakad, hogy relatív nagy vízterületre van szükség a kiépítéshez.

*Billentésez vízrebocsátás:*

Gyakran a mederprofil nem teszi lehetővé a csúsztatásos vízrebocsátást, mert a kis lejtésű partszakasz csak egy rövid szakaszon folytatódik a víz alatt, majd a meder gyorsan mélyülni kezd. Ilyenkor ameddig csak lehet, kiépítik a víz alatt is a sályapályákat. Mikor a szánkók a pálya végére érnek, a hajó súlyának egy részét már a víz felhajtóereje felveszi. A vízrebocsátás utolsó szakaszában a sályapályákról lecsúszó sályaszánkók a mélyebb mederbe zuhannak, s a hajó hirtelen felúszik. A kialakításnak olyannak kell lennie, hogy a hajónak megfelelő sebessége legyen a pálya végénél, különben a merülő lengéseivel és dülöngélő mozgásával elérheti a mederfeneket, vagy a medersor nekicsapódhat a pálya végének. A túl nagy sebesség nagy oldaldőléseket jelenthet, viszont túl lassú vízrebocsátásnál a hajó megállhat a pályák végénél (ilyenkor a víz felől lehúzni tilos), vagy éppen túlhalad a pályavégeken, s a hirtelen merülés növekedés hatására elérheti a mederfeneket. A vízrebocsátást tehát alaposan meg kell tervezni.

A billentésez sályapálya nem alkalmas hajók kiemelésére.

*Ejtéses vízrebocsátás:*



Forrás: [www.remontowa.pl](http://www.remontowa.pl)

4.11. ábra: Billentéssel vízrebocsátás

Ejtéses vízrebocsátást akkor alkalmaznak a hajógyárok, ha nincs lehetőség a sólyapályák víz alatti folytatására, azaz meredek partfalú öbölben vagy medencében történik a vízrebocsátás. A hajó ilyenkor csak a partfal széléig áll a sólyaszánkókon, melyek a pályák elhagyása után azonnal összeomlanak, s a lejtőn nagy sebességgel haladó hajó szabadeséssel jut a vízbe. A szabadesés közben gyakran oldalára is dől, s a vízfelszín megdőlt állapotban éri el, s a vízbe érve dülöngélő mozgásba kezd. A legnagyobb dőlésszög az első, part felé történő visszabilenés, tehát nagy a veszélye annak, hogy a hajó visszaüt a sólyapályára vagy a partfalra. Egyetlen előnye ennek a vízrebocsátásnak, hogy a hajó fő méreteinél alig nagyobb vízterületre van szükség, azonban a keskeny medencéknél jelentős hullámvásárlás kell számítani. A jelentős mozgási energiaváltozásnak (a gyorsan vízbe eső hajó sebességét a víz csillapítja) köszönhetően a hajó több vizet szorít ki, mint a tömege, ezért a medencének mélynek kell lennie.

## 4.2 Vízi szerelés

A hajóépítés utolsó fázisa a vízi szerelés, melynek során a vízre bocsátott testből üzemképes hajó készül, amit a hatóságok, az osztályozó társaság és a vevő is átvesz. A hajón ekkor foglalkoztatják a legtöbb szakmát egyszerre. A nagy tengeri hajókon külön feladatot jelent a hajón tartózkodó személyek regisztrálása, aminek biztonsági okai is vannak, hiszen egy nagy hajón egyedül balesetet szenvedett munkás életét mentheti meg, ha időben elkezdik keresni. A különféle szakmában dolgozók megkülönböztetésére a hajógyárok általában eltérő színű védősisakkal látják el őket.

Mivel a hajógyárok egyre inkább alvállalkozókkal is dolgoztatnak a vízi szerelés munkaszervezése különösen fontos. A vízi szerelés folyamatának alapvetően három szakasza van: a szerelés, a próbák és az átadás előtti műveletek.

### 4.2.1 Szerelés

A szerelés az a folyamat, amikor a vízrebocsátott hajótestből üzemképes hajó készül. Ennek megszervezését több szempontból is át kell gondolni.

#### *A HAJÓN VÉGZETT SZERELÉSEK CSOPORTOSÍTÁSA SZAKMA SZERINT.*

A hajógyárok számára ez a számbavétel elsősorban a műhelyek feladatainak ütemezését, és várható leterheltségüket igyekszik megállapítani. Gondos előtervezésnél kiderülhetnek a szűk keresztmetszetek, s a gyár előre tud gondoskodni többlet munkaerőről, alvállalkozók bevonásáról, és az előgyártási lehetőségek bővítéséről.

Például a csőszerelő munkáknál csőrendszer csoportokat, azon belül pedig az egyes csőrendszereken végzendő munkákat kell számba venni. Ezekhez meg kell becsülni a munka-idő, munkaerő és eszköz igényt. A szerelés ütemezésénél figyelembe kell venni a csőrendszer méreteit (lehetőség szerint a nagy átmérőjű csövekkel kell kezdeni a munkát), és a megelőző és ráépülő munkákat. Például a fűtésrendszert nem érdemes addig szerelni, míg a lakóterek nem alkalmasak annak fogadására. Vagy az üzemolaj rendszer bizonyos fokú prioritást élvez, gépek mielőbbi beindítása érdekében.

#### *A HAJÓN VÉGZETT SZERELÉSEK CSOPORTOSÍTÁSA SZERELÉSI SORREND SZERINT.*

Mivel a hajó működését tekintve egy egységes rendszer, a szerelési folyamat egymásra épülő műveletekből áll. Az egymásra épülés lehet soros, illetve átfedő.

A soros tevékenységeknél az egyes műveletek időben egymást követően illeszkednek egymáshoz, vagyis az egyes műhelyek vagy beszállítók nem tudják megkezdeni a munkát, amíg a másik brigád nem végez. Például a főgépek beszerelésénél a technológiai sorrend: főgép alapok köszörülése–tengelyvezeték beemelése–főgép beemelése–tengely szerelése–főgép beállítás. A szigorúan soros feladatoknál szoktak kialakulni a kritikus szerelési utak, s az ezeken történő időbeli csúszásokra a gyárnak fel kell készülnie. (pl. munka átütemezés, szerződésmódosítás, külső munkaerő bevonása stb.)

*Átfedő tevékenységek a munka megindításakor:* A megelőző munkamenetnek legalább részben el kell készülnie ahhoz, hogy a tevékenység megkezdődhessen. Például a lakóterek burkolását és festését csak akkor érdemes elkezdni, amikor már a csőszerelés és a kábelpályák kiépítése az adott helyiségben megtörtént.

*Átfedő tevékenységek a munka megindításakor és befejezésekor:* A megelőző munkamenetnek legalább részben be kell fejeződnie a munka megindításához, azonban a tevékenység befejezése egy másik munkától függ. Például a segédgépek próbáit és beállítását a csővezetékek kiépítése és átadása után meg lehet kezdeni, de véglegesíteni csak a hajó vezérlő rendszerének elkészülte után lehet.

*Átfedő tevékenységek a munka befejezésekor:* Az egymástól függetlenül kezdhető tevékenységeknél előfordul, hogy az egyik befejezése a másik befejezésének feltétele. Például a fűtésrendszer és a melegvíz-kazán szerelése indulhat függetlenül, de a fűtőrendszer üzembe helyezéséhez már szükséges a kazán üzembe helyezése.

#### 4.2.2 Próbák

A hajóépítést minden szakaszában vannak próbák, melyek feltételei a munka folytatásának. A próbákat végezheti a gyár saját minőségbiztosítási rendszere szerint, azonban általában a vevő csak akkor veszi át a hajót, ha a próbákat az osztályozó társaság végzi, vagy elismeri. A vízi szerelésnél végzett próbák a hajó végső próbái, s a szerelési tevékenység teljes befejezése után történnek. A próbákat és azok követelményeit a hatóságok és az osztályozó társaság előírásai, valamint a hajótulajdonos szerződésben kötött igényei határozzák meg.

A próbák három szakaszra oszthatóak:

1. Állópróbák, melyek közül a legfontosabbak:
  - rendszerek üzemi próbája
  - segéd és fedélzeti gépek próbája
  - főüzemi és kiszolgáló gépek próbája
  - vonóerő mérés
2. Futó próba, melyen alapvetően a következőket vizsgálják:
  - szabadmeneti próba, sebességmérés
  - manőverezési próba
  - vontatási próba



3. Ellenőrző próbák a futópróba után, amiket kikötve vagy szabadmenetben szoktak végrehajtani.

A hajótípustól, megrendelői igénytől és előírásoktól függően egyéb próbákat is szoktak végrehajtani. Például:

- zaj- és rezgésmérés meghatározott helyeken és üzemállapotokban
- torziós lengés mérés
- teljesítménymérés
- stabilitásvizsgálat

#### 4.2.3 Átadás előtti műveletek

Mikor a hajó már minden próbának megfelelt, a hajótulajdonos ünnepélyes keretek között veszi azt át. Ennek előkészítése érdekében

- a hajó festését ellenőrzik, s ahol kell, javítják.
- kitakarítják a hajót.
- a lakórész bútorait csomagolással látják el, amely a hajó szolgálati helyére történő hajózásig védi. Ez különösen a személyhajóknál fontos.
- a különféle kötelező, és leltári felszerelések meglétének ellenőrzése, ha kell pótlása (pl. havarialeltár, tűzoltóleltár, mentőfelszerelések stb.).
- az átadás-átvételi jegyzőkönyvek ellenőrzése.
- dokumentáció összeállítás a legénység és a hajótulajdonos részére.

## II. RÉSZ – KISHAJÓK ÉPÍTÉSE

### BEVEZETŐ

A kedvtelési célú kishajózás a 16. és 17. század fordulója körül kezdődött azzal, hogy a holland hajósok rájöttek, vitorlázni nemcsak munkavégzés céljából lehet, hanem annak pusztán szépségéért is érdemes. És mindezzel egy időben megjelent a sporthajózás is, mint a kedvtelés egyik formája. Ebben az időben a hajók építési anyaga jobbra csak a fa volt, így a kedvtelési célú kishajók építési technológiája is a fahajók már a középkorban kifejlődött jól bevált módszereit követte: gerincre elhelyezett bordázatra palánkokat raktak, és ezzel készítették a héjazatot. A későbbiek során – hogy egyre nagyobb méretű kishajókat kezdtek építeni -, a bordákat acélból készítették, és akár több, egymáshoz képest szög alatt elhelyezett palánkozással látták el. Sőt, egyes speciális hajókat akár teljes egészében acélból készítették. Az 1950-es évekre a műanyagok kishajó-iparban való alkalmazása is lehetővé vált, így újabb gyártástechnológiák léptek a korábbiak mellé. Ezeket aztán – számos előnyük miatt – rohamosan és több irányban tovább is fejlesztettek az egyre változatosabb kedvtelési igények és a nyereséyes versenyzés által diktált követelmények kielégítésére. Mindezek eredménye, hogy mára a kishajóépítésben számos alapanyagot és igen sok különböző gyártási technológiát használnak a hajóépítők.

A gyártási módszert minden időben a rendelkezésre álló szerkezeti anyagok és azok kötési, megmunkálási lehetőségei szabták meg. Kezdetben az alapanyag a fa volt, a gyártástechnológia is értelemszerűen ehhez igazodott. Mind a mai napig építenek kishajókat fából, annak kedvező esztétikai és fajlagos szilárdsági jellemzői miatt, de a kötéstechnika (csavarozás, szegezés helyett/mellett ragasztás) fejlődése egészen új, modern eljárások bevezetését is lehetővé tette, mellyel sok esetben egyes egyszerűbb kompozit szerkezetből készülő hajónál is jobbat lehet ma már fából készíteni. A fém, mint szerkezeti anyag a kishajóépítésben – nagy fajsúlya miatt – kisebb jelentőséggel bír, a gyártástechnológia nagyjából hasonló a korábban leírt nagyhajós módszerekhez. Mind a fához, mind a fémhez tartozó építési technológiák olyanok, amelyek nem igazán felelnek meg a sorozatgyártási céloknak, ezért elmondható, hogy ezek az alapanyagok és technológiáik a kishajóépítésben belül főleg az egyedi hajók gyártását szolgálják. A szálerősített műanyagok – akár tömör laminátos, akár szendvics-szerkezetű kialakításban – és később részletezett gyártási módszereik ugyanakkor tökéletesen alkalmasak kishajók sorozatban gyártására is. Általánosságban elmondható tehát, hogy egyedi tervek alapján ma mindenféle anyagból és módszerrel épül kishajó, sorozatban viszont jellemzően csak kompozitból. (A sorozatgyártás alatt itt azt értjük, hogy a hajók azonos alapvető tulajdonságokkal és testformával rendelkeznek, de belső kialakításuk nem feltétlenül egyezik meg teljesen. A sorozatszám tekintetében országonként és cégenként is nagy a szórás, a típusonként évi 3-5 db kis sorozatnak, a 250 db pedig nagy sorozatnak tekinthető.)

Az egyedi gyártás jellemzői:

- a hajó egyedi tervek alapján épül, így a megrendelő egyedi igényeit is ki lehet elégíteni;
- nagyobb munkaigénye van;
- mivel a hajó formája egyedi, nincsenek sablonok;

- olyan alapanyagot és technológiát célszerű választani, ami nem igényel sablonokat (könnyen használható az adott forma kialakításához);
- a bútorzat kialakítása a hajón belül történik alkatrészenként;
- a héjszerkezet elkészülte után a hajótest nem mozog, minden további alkatrész, elem oda szállítandó és ott kerül beépítésre, ahol a hajó van (a hajó áll).

Meg kell jegyezzük, hogy a számítógépes hajótervezés sok tekintetben megkönnyítheti az egyedi gyártást is, hiszen ennek révén számos alkatrész vagy elem gyártását lehet gépesíteni.

A sorozatgyártás jellemzői:

- a gyártás kötött, a megrendelő speciális igényei nem elégíthetők ki;
- a nagyobb elkészítendő darabszám gazdaságosabb gyártása érdekében a nagyobb alkatrészekhez mindenképpen, a kisebbekhez esetleg készítenek speciális, a gyártást megkönnyítő szerszámokat, mintákat, sablonokat;
- számos gyártási tevékenységet gépesítenek, automatizálnak (pl. rétegelt lemezek kivágása, felületkezelés);
- a hajók belső bútorzati részeit nagyobb elemekben előre, a hajón kívül elkészítik, majd egységenként rögzítik;
- a hajó egy gyártási láncon megy végig, melynek minden egyes állomásán valamilyen más feladatot végeznek el (a hajó mozog);
- kisebb átfutási idő;
- nagy termelékenység;
- egy azonos minőségi szint könnyebben biztosítható minden terméknel;
- a hajók lehetnek teljesen egyformák (ez lehet előny, pl. one-design osztályoknál, de lehet hátrány is);

A következő fejezetekben áttekintjük az egyedi és sorozatgyártás módszereit. A bemutatás célja azonban nem az, hogy általa az olvasó hajóépítő mesterré váljék. Csak annyira igyekezzünk belemenni a részletekbe, hogy a hajótervezéssel foglalkozó szakemberek elméletben és általánosan megismerkedhessenek az egyes technológiákkal, és így olyan hajókat tervezhessenek, amelyeket adott esetben le is lehet gyártani. Éppen ezért nem foglalkozunk részletesen a szerszámok kezelésével, felhasználásuk módjával és olyan dolgokkal sem, mint a kishajók karbantartása, javítása stb. Ehelyett a választható alapanyagok, azok jellemzőinek ismertetése, és a belőlük készíthető hajók gyártási folyamatainak tematikus leírása volt a szándékunk. Nem írunk továbbá a fémből készülő kishajók építéséről, hiszen ez a technológia gyakorlatilag azonos a jegyzet előző részében tárgyalt nagyhajók építésénél alkalmazott módszerekkel.

## 5. A KISHAJÓK ALAPANYAGAI

A kishajókat manapság a velük szemben támasztott követelmények – esztétika, sebesség-potenciál, tartósság, ár stb. – miatt és a technikai fejlődés adta lehetőségek révén többféle anyagból építik. Az adott hajó számára megfelelő anyag kiválasztása ezért nem is olyan egyszerű feladat. Az anyaggal szemben támasztott követelményeket a következőképpen lehet összefoglalni:



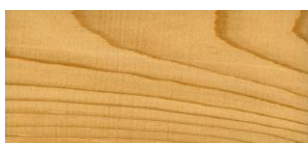



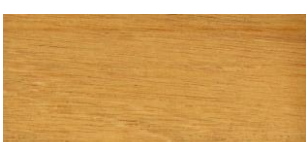
- biztosítson megfelelő szilárdságot – statikus, dinamikus (periodikus) és „egyszer az életben” jellegű terhelésre is;
- adjon kellő merevséget – hajlítás és kihajlás esetére is;
- könnyen lehessen vele dolgozni – legyen könnyen megmunkálható, formázható, jó kötéseket lehessen készíteni;
- legyen időtálló – a mechanikai tulajdonságok ne változzanak számottevően az idővel, kevés hulladék legyen;
- legyen elfogadható az ára – az alapanyagának és a megmunkálásnak is (tőke- és rezsiköltségek, szerszámigény stb.);
- legyen sérüléstűrő – úszó tárgyakkal ütközés, zátonyra futás, hullámütések esetére.




Nyilvánvaló, hogy minden követelményt egyetlen anyag sem tud teljesíteni, ezért olyan, hogy ideális anyag, nem létezik. Sok esetben nincs is nagyon lehetőség a választásra, mert vagy a megrendelő, vagy pl. egy osztályelőírás megkötöi a tervező kezét. Ha viszont a tervező szabadon választhat, akkor az adott feladat ismeretében, az anyagokra jellemző előnyök és hátrányok racionális értékelésével kell a kiválasztást elvégezni. Az alábbiakban az egyes anyagok jellemzőit vesszük végig, majd a fejezet végén következik a szerkezeti anyagok összehasonlítása, mely a kiválasztást is segítheti.

### 5.1 Faanyagok

A fa talán az egyik legrégebb óta használt hajóépítő anyag. Ennek oka, hogy számos olyan tulajdonsága van, amely a különböző korokban mindig előnyt jelentett. A fa könnyű, könnyen megmunkálható, jól hajlítható, jó hő- és hangszigetelő, ellenálló, tömegegységre vetítve nagy szilárdsággal rendelkezik, jól ragasztható és festhető, esztétikus megjelenésű. Ugyanakkor van néhány olyan tulajdonsága is, amivel minden kor hajóépítőjének szembe kell néznie: a különböző fahibák, a nedvszívás és az ebből származó méretváltoztatás (zsugorodás-dagadás) valamint a fa rohadása. A fahibák helyes anyagválasztással kiküszöbölhetők, a nedvesség felvétele viszont csak speciális gyártástechnológiával. (Ennek módja a fa minél jobb átítatása olyan anyagokkal, amelyek a fába beleszívódnak. Ezzel meggátolják azt, hogy a fa nedvességet tudjon felvenni a környezetétől, és ezzel a fa mozgása kiküszöbölhető. A modern epoxi impregnáló szerek erre már alkalmasak, de ez a gyártást igen megdrágítja. Az e jegyzetben is részletezett, ma használt gyártástechnológiák közül a furnérok formára ragasztása biztosítja a legkevesebbé mozgó (vagyis leginkább mérettartó) szerkezetet. Itt ugyanis vékony anyagot alkalmaznak, melyet könnyebb impregnálni, ráadásul minden egyes réteget egymáshoz ragasztva egy igen merev és kevés nyitott pórusal rendelkező szerkezetet hoznak létre.) Általánosan elmondható, hogy hajóépítésre csak kiváló minőségű faanyagot szabad felhasználni.



Fajta	Jellemző / Felhasználási terület	Sűrűség kg/m <sup>3</sup>	Rajzolat
Lucfenyő	<i>gyantás puhafa, könnyű, tartós, rugalmas; külháj, fedélzet, merevítők, rudazat, padló</i>	470	
Douglas fenyő	<i>gyantás puhafa, nagy szilárdságú, egyenes szálú, jól megmunkálható, vöröses színű; külháj, fedélzet, fedélzeti bordák, rudazat</i>	530	
Vörös cédrus (western)	<i>könnyű és gyenge puhafa, nem hajlamos rothadásra; külháj</i>	390	
Kanadai luc	<i>rózsaszín, könnyű, szívós, rugalmas, de drága; rudazat</i>	420	
Vörösfenyő	<i>vörösesbarna gyantás puhafa, a legtartósabb a fenyők között; külháj, fedélzet</i>	740	
Sapeli mahagóni	<i>vörösesbarna keményfa, tartós, nem zsugorodik, szilárd; a hajó összes alkatrésze készíthető belőle</i>	640	
Brazil mahagóni	<i>vörösesbarna keményfa, tartós, nem zsugorodik, szilárd; a hajó összes alkatrésze készíthető belőle</i>	560	

Tölgy	<i>szilárd, tartós, jól hajlítható, csersav-tartalmú fa; gerinc, orrtőke, fartőke, tükör, bordák, külháj, fenékmerevítők</i>	695	
Teak	<i>sötétbarna, nehéz, kemény, szilárd, tartós, nehezen megmunkálható, igen drága fa; fedélzet borítása</i>	660	
Kőris	<i>szilárd, tartós, rugalmas, jól hajlítható, relatíve könnyű, fa; bordák, merevítők</i>	650-700	

a képek forrása: [www.sykestimber.co.uk](http://www.sykestimber.co.uk)

5.1. táblázat: A különböző fafajták jellemzői

A hajóépítésben használt fafajtákat, azok sűrűségét, és felhasználási helyüket a 5.1. táblázatban foglaltuk össze.

A faanyagokat sokszor tömör fűrészárúként használjuk, de emellett lehetőség van hajók építésére furnérból és rétegelt lemezből is.

A furnér tömör, de relatíve vékony fa lap vagy tábla. Vastagsága a pár tized mm-től a néhány mm-ig terjed. A lapok szélessége 20-50 cm, hosszúsága több méter általában. A vékonyabb változatok rétegelt lemezek alapanyagaként, a vastagabbak közvetlenül felhasználhatók hajóépítésre (ld. a furnérok ragasztásával készített külhájnál). Ennél az építési technikánál is rétegelt szerkezetet készítenek, csak nem sík táblákat, hanem a hajó formájának megfelelőt. A furnér csak így használható, hiszen „magában” nincs meg a kellő szilárdsága.

A rétegelt lemez szálirányra merőlegesen egymásra ragasztott furnértáblákból áll. Hajóépítésben csak ún. „marine grade” rétegelt lemezt szabad használni, ennél a ragasztó a táblát víz- és fűzésállóvá teszi. A rétegelt lemez különböző táblaméretekben és furnér-alapanyagokból készítenek. Az anyag igen nagy szilárdságú és merev a több réteg összeragasztásából következően. Ennek megfelelően hajlítani nehezen, csak a vastagságnak megfelelő nagy görbületi sugarakra lehet, domborítani pedig még úgy sem. A hajóépítésben leggyakrabban használt rétegelt lemezek furnér-alapanyaga mahagóni, okumé, és nyírfa. A fafajtákat az ár csökkentése érdekében egy táblán belül kombinálni szokták, a belső nem látszó rétegek pl. az igénytelenebb nyírből, a külső pedig valamilyen nemesebb fából készül. Így viszont a színfurnér számára gyakorlatilag a cseresznyétől a mahagóniig minden nemesebb fafaj szóba jöhet. Rétegelt lemezből elsősorban a sarkos építésű hajók külháját, a fedélzetet és a hajók belső bútorzatát készítik, de újabb terveken már a bordázat számára is felhasználják.

## 5.2 Fémek

### 5.2.1 Acél

Az acéllal, mint hajóépítő anyaggal a Hajók szerkezete c. jegyzet részletesen is foglalkozik, itt csak az acél alkalmazásának kishajós vonatkozásait említjük meg.

A hajóépítő acél a kishajóépítés számára is hordoz néhány igen előnyös tulajdonságot, ezek a hatalmas szilárdság és a koptató hatással szembeni igen nagy ellenállás, a könnyű gyárthatóság, könnyű javíthatóság (hegesztők mindenütt vannak), a rugalmas és maradó alakváltozásra való képesség (amellyel az egyéb kishajóépítésben használt anyagok gyakorlatilag nem rendelkeznek). Mindez lehetővé teszi olyan hajók építését, amelyek extrém körülmények között is nagy biztonsággal megállják a helyüket még akkor is, ha zátonyra futnak vagy vízben úszó tárggyal (pl. konténer) ütköznek. Előny még, hogy az acélból készült hajóknál igen könnyen hozhatók létre a hajón belül vízmentes terek, ami a fahajókra nem mondható el. Az érem másik oldalán azonban ott van az acél nagy sűrűsége, ami azt jelenti, hogy kishajót nehéz könnyűre csinálni. Ennek oka egyrészt abban van, hogy a szerkezetet nem lehet az igénybevételekhez igazodó vékonyságúra készíteni, mert az helyi szilárdsági problémákat vetne fel. Az acél másik hátrányos tulajdonsága a korrózió, amely csak igen gondos felületvédelemmel kerülhető el. Ennek ellenére a tervezéskor a biztonság kedvéért azzal számolnak, hogy a hajó szerkezetének egynegyede 15-20 év alatt általában eltűnik a rozsdásodás miatt, ezért a legkisebb vastagságú lemez, amit elvben alkalmazni lehet, a 3 mm-es. Durva becslés alapján igaz, hogy 30m alatti kishajó acélból biztosan nehezebb (és minél kisebb, annál észrevehetőbben), mint az azonos, de fából, kompozitból vagy akár alumíniumból épülő hajó. Itt kell megjegyezni, hogy a vékony lemezek hegesztése sem olyan egyszerű, mert a nagy hőbevitel könnyen hullámossá teszi a lemezeket a varratok mellett, és ezt eltüntetni igen nehéz. Ugyanakkor ettől eltekintve is igaz, hogy az acélszerkezetek felülete sokkal nehezebben készíthető olyan simára, amelyet egy kedvtelési célokat szolgáló kishajótól meg szoktak követelni. Az acéllemezek domborítása nehéz, körülményes, kisipari körülmények között gyakorlatilag kivitelezhetetlen feladat, ezért az acélból készült kishajók többnyire sarkosak, vagy esetleg a medersornál lekerekítettek. Szóba jöhet még a kúp- és egyéb síkba fejthető felületek kombinálása, de az ezekkel létrehozható testformák sem tartoznak a legkecsesebbek közé.

Az anyagminőség tekintetében a nagyhajók építéséhez használatos lemez- és profilminőségeket alkalmazzák a kishajóépítésben is. Itt is a felületkezelés könnyebb volta miatt preferált a bulbás profilok alkalmazása, de sok esetben a kis méretek miatt laposacél merevítőt használnak e helyett is.

### 5.2.2 Alumínium

Az alumíniumot a XX. század eleje óta használják a hajóépítésben. Mára mindenféle méretű motoros és vitorlás hajót építenek belőle. Természetesen az anyag lemezszerű jellegéből következően itt is jelentkeznek a formával kapcsolatos, az acélnál már említett problémák. Ugyanakkor az alumínium sűrűsége harmada az acélénak, és bár a szilárdsága is kisebb, mégis az acélhoz képest könnyebb hajókat lehet belőle építeni. 20m felett már versenyképes alapanyag lehet elsősorban a motorosok, de egyes esetekben a vitorlások építése terén is. Az acélhoz hasonlóan képes a rugalmas és maradó alakváltozásra, de mint könnyűfém, az acélnál könnyebben, akár kézi szerszámokkal is megmunkálható. Szintén nehézkes a domborítása, és hegesztés tekintetében sem annyira egyszerű a helyzet, mint az acél esetében (bár mára ez sem jelent különösebb problémát). Meg kell azonban említeni, hogy az

alumínium-ötvözetek hegesztése káros hatással van a szerkezet kifáradással szembeni viselkedésére és a statikus terhelhetőségére is, éppen ezért a vékonyabb lemezeknél a ragasztott kötések terjedése egyre jellemzőbb. Hajóépítésre a nagyobb szilárdság és korrózióállóság érdekében csak magnéziummal, mangánnal és/vagy szilíciummal ötvözött anyagból készített lemezeket és idomokat használnak. Ára az acélnál magasabb és – mivel az elektrodpotenciál-táblázatban a cinkhez hasonlóan igen alacsonyan helyezkedik el – az elektrokémiai korrózióknak igen ki van téve, mint fogyó-fém. Éppen emiatt a réz szerelvények és a réz-alapú alagatlók alkalmazását alumínium hajókon kerülni kell.



forrás: [www.futuna-yachts.com](http://www.futuna-yachts.com)



[www.conquestyachts.com](http://www.conquestyachts.com)

5.1. ábra: Alumínium hajók építése

### 5.3 Szerkezeti műanyagok

A műanyag hajógyártás különböző lehetőségeinek bemutatásához mindenképp szükség van a következő, a korábban említett anyagféleségek tárgyalásához képest sokkal részletesebb kompozitokról szóló leírásra. E részletes ismertető nagyban támaszkodik a Gurit cég „Guide to Composites” segédletére.

A kishajógyártásban a hajótest szerkezeti elemeinek építéséhez használt műanyagok ma általában kompozit anyagok. A kompozit olyan anyag, amely legalább két összetevőből áll. Az összetevők együttműködnek annak érdekében, hogy olyan anyagtulajdonságokat hozzanak létre, amelyek különböznek az egyes összetevők saját tulajdonságaitól. A legtöbb kompozit tartalmaz egy ún. beágyazó anyagot (mátrix), és egy valamilyen erősítő anyagot, ami arra szolgál, hogy a mátrix szilárdságát és merevségét növelje. Ez a megerősítés általában szál formájú. Napjainkban a legelterjedtebb ember által előállított kompozitfajták a következők:

- Polimer mátrixú kompozitok – a kishajók építésében általánosan használt típus, melyet általánosan szálerősített műanyagoknak hívnak (fibre reinforced plastics). Az angol megnevezés betűszava FRP, ezt a rövidítést használjuk majd mi is. Ezeknél az anyagoknál mátrixként egy gyantát, megerősítésként pedig többféle szálat (pl. üveg, szén) használnak.
- Fém mátrixú kompozitok – gépjárművek gyártásában használatosak. Ezeknél az anyagoknál fémet, pl. alumíniumot használnak mátrixként, és ezt szilikon karbiddal, vagy egyéb rosttal erősítik meg.
- Kerámia mátrixú kompozitok – ezeket nagyon magas hőmérsékletű környezetben, el-



sősorban az űrtechnikában használják.

Kompozitnak tekinthető ugyanakkor az építőiparban használt vasbeton is (ahol a szál acélból van, a mátrix pedig a beton). A továbbiakban a polimer mátrixú kompozitokkal foglalkozunk részletesebben.

Megjegyezzük, hogy jegyzetünkben a műanyag építési technológiával nem foglalkozunk, erről az érdeklődő olvasó Dr. Simongáti Győző, „Kishajók” című jegyzetében olvashat.

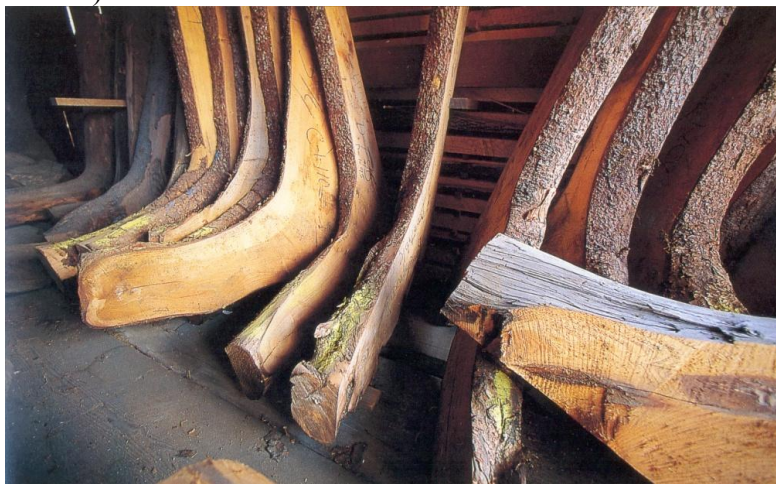
## 6. FAHAJÓK ÉPÍTÉSE

A következő fejezetekben bemutatjuk, hogy hogyan lehet fából hajótest szerkezetet készíteni. Megtárgyaljuk a külháj és fedélzet készítésének különböző, ma általánosan használt módszereit, de nem térünk ki a hajó belső bútorzatának kialakítására, hiszen nem célunk asztalosipari részletekbe belemenni.

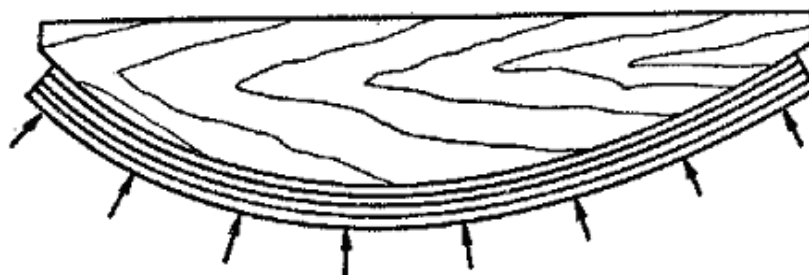
### 6.1 Hagyományos palánkos külháj építése

A hagyományos eljárással fából készült hajóknál a hajótest vázból (merevítő szerkezetből) és külhájából áll. A váz elemei az orrtőke, a gerinc, a fartőke vagy a tükör valamint a bordák és az esetlegesen beépítésre kerülő hosszmerevítők (koszorú, sarokléc). (A később tárgyalt módszereknél egyes esetekben a külháj önmagában olyan merev tud lenni, hogy bordákra egyáltalán nincs szükség, vagy csak helyi erősítésként bizonyos helyeken.)

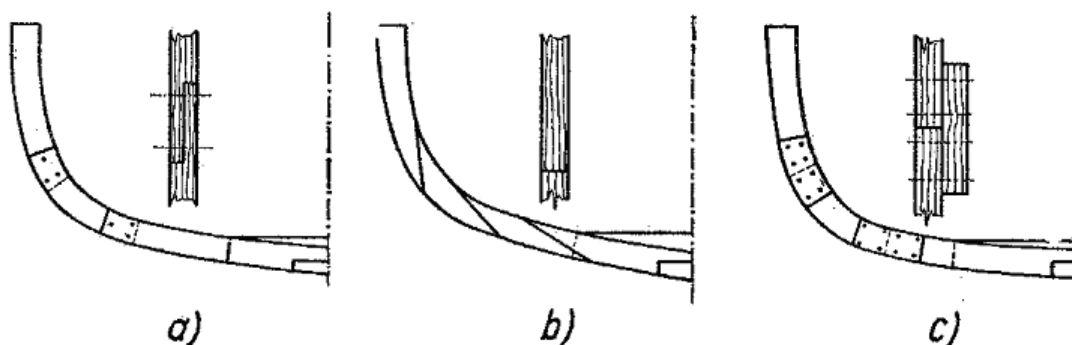
Az építés első fázisa a váz alkatrészeinek elkészítése. A nagyobb méretű hajóknál az egyes elemeknél a megfelelő hosszt és keresztmetszetet hosszirányú toldásokkal, és esetleg több réteg egymásra ragasztásával alakítják ki. Mivel ezek az alkatrészek jellemzően ívesek, szükség van a tömör fából íves darabok készítésére. Erre több módszer is kínálkozik, a műhely felszereltségétől és az alkatrész jellegétől függően kell megválasztani az alkalmazott módszert. Kisebb keresztmetszet és nagyobb görbületi sugár esetén a fa hidegen is hajlítható. Ha nagyobb a görbület, akkor vagy gőzölést alkalmaznak vagy görbén nőtt fából fűrészelik ki az alkatrészt. Lehetőség van egy nagyobb tömör darabból kivágni a darabot, de ekkor a fa rostjai a darabon belül nem követik az ívet, így az kisebb szilárdságú lesz. Jó, de munkaigényesebb megoldás még, hogy a fából lemezeket vágnak, ami már hidegen hajlítható, és a kívánt keresztmetszetet több lemez sablonba való egymásra ragasztásával hozzák létre (6.1. ábra).



6.1. ábra: Görbén nőtt fadarabok bordák számára



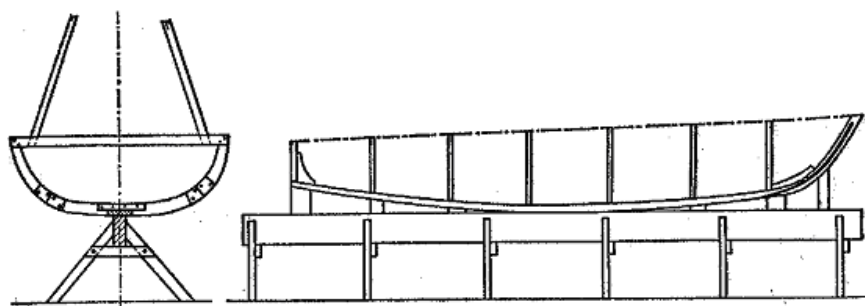
6.2. ábra: Íves alkatrész készítése elemek sablonra hajlításával és ragasztással



6.3. ábra: Toldott bordák változatai

Az alkatrészek elkészítése után a következő lépés a váz felállítása. Erre két megoldás is kínálkozik: a hajót egyenes helyzetben (vagyis ahogy úszik) építik vagy fordítva („fejjel lefelé”). Az építési mód megválasztása függ a hajó méretétől, a műhely felszereltségétől, a hajótest anyagától, szerkezetétől stb. Általánosan elmondható, hogy mivel a palánkozás könnyebb, ha a hajó fordított helyzetben épül, ezért ezt érdemes preferálni egészen addig, amíg a hajó megfordítása nem ütközik különösebb problémába. Ha ez a hajó mérete miatt már nehezen kivitelezhető lenne, célszerű az egyenes építési módot választani.

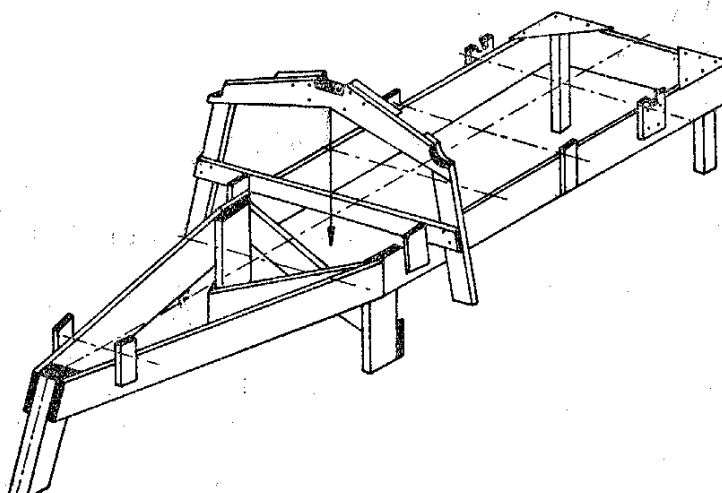
Akármelyik megoldást választjuk szükség van egy ún. építőgerendára (fordított elrendezésnél általában iker-gerendát használnak). Az építőgerenda egy a hajó középsíkjában kellően alátámasztott élére állított gerenda, mely egyben megadja a vízszintes síkot is az építéshez. Egyenes építésnél a gerendára elhelyezik az alábakolt, és így a terv szerinti ívre beállított gerincet, majd ehhez erősítik hozzá az orr- és fartőkét, tükröt, és végül a bordákat. Fordított építésnél viszont az ikergerendára először a bordák kerülnek fel – természetesen fordított helyzetben – és erre helyezik el a gerincet, melynek íve a bordákhoz rögzítés után adódik ki. Ez után következik az orr- és fartőke valamint a tükrő beépítése és rögzítése.



6.4. ábra: Egyenes építési mód

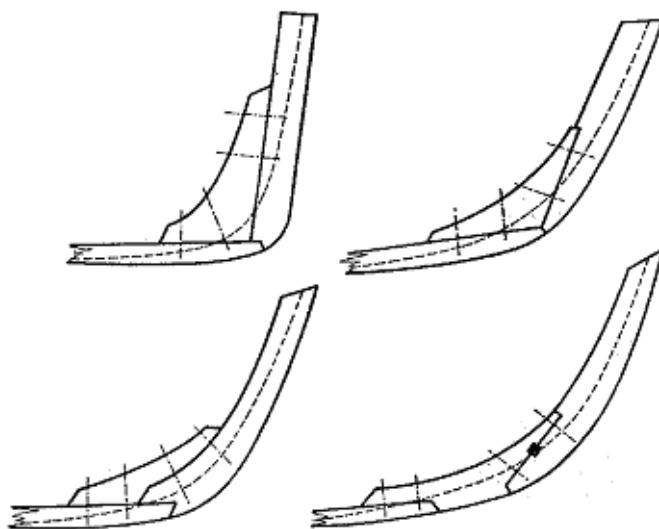
Mindkét módszernél nagyon fontos, hogy az egyes elemek megfelelően álljanak egymáshoz képest. Ellenőrizni kell a gerinc ívét a bordák függőlegességét, az orr- és fartőke, valamint a tükör terv szerinti dőlését, és ha szükséges, akkor a beállításon korrigálni kell. A kellő körültekintésnek nagyon fontos szerepe van, hiszen ezen a ponton még könnyen lehet javítani egy esetleges aszimmetrikusságot, de később ez már sokkal költségesebb vagy éppenséggel lehetetlen. Az egyenes építési módnál a bordák megfelelő állásának biztosítása érdekében azokat egy felső gerendához is ki szokták kötni (6.4. ábra).



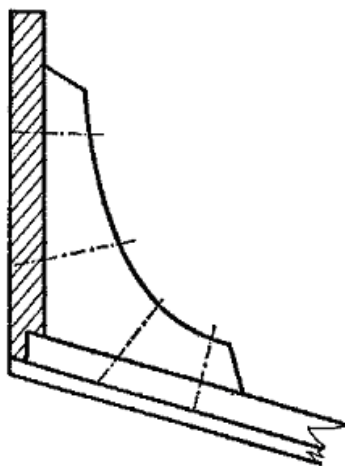


6.5. ábra: Építő iker-gerenda fordított építési módnál

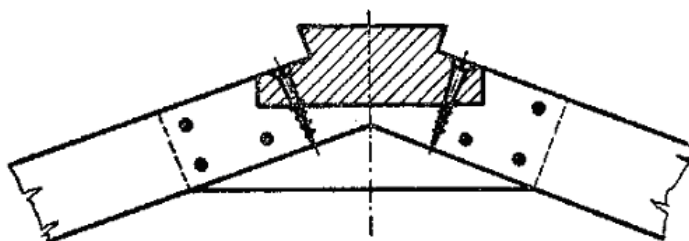
Sarkos építésű hajónál a váz felállításának befejező műveletei a hosszbordák és saroklécek berögzítése. Az egyes elemek egymáshoz rögzítését, kapcsolódását a 6.6.-6.9. ábrák szemléltetik. A következő munkafázis a külhéhoz csatlakozó alkatrészek csatlakozási felületeinek kimunkálása. Ide tartozik a bordák megfelelő szögű rézselése, a gerinc, orr- és fartőke aljzásának (amit az alkatrészek készítésekor már nagyjából elkészítettek) véglegesítése.



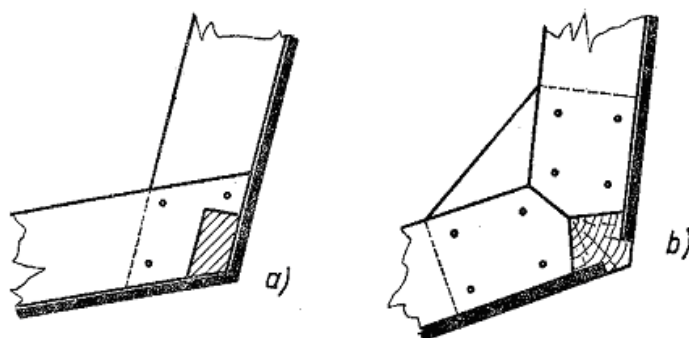
6.6. ábra: Orrtőke csatlakozása gerinchez



6.7. ábra: Tükör és gerinc összeerősítése



6.8. ábra: Gerinc és borda csatlakozása fordított építési módnál



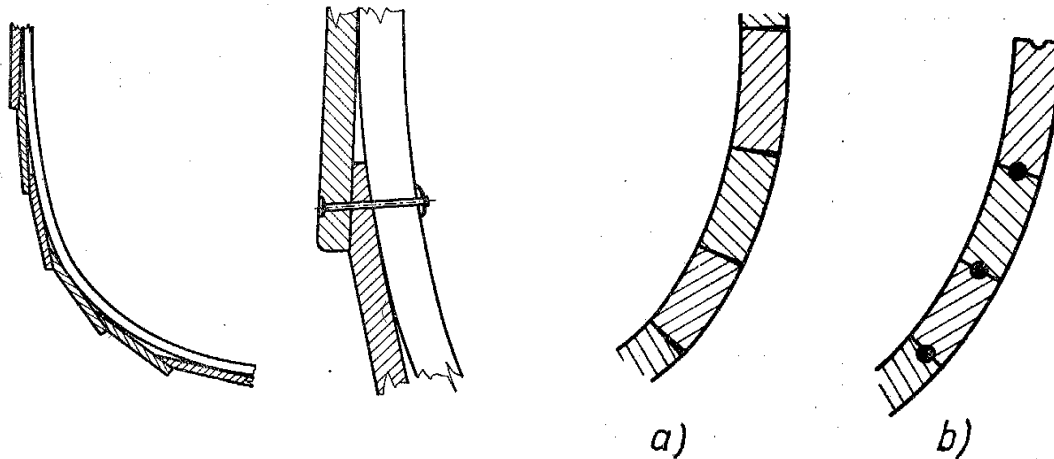
6.9. ábra: Sarokléc beépítése a) rálapolással, b) aljazással



6.10. ábra: A kész váz

A váz elkészülte után következhet a külháj készítése. A külháj készülhet palánkozással (azon belül klinker, karvel, hosszbordás és diagonál palánkozással) vagy rétegelt lemezből, lécezéssel illetve furnérből. Ez utóbbiakat külön alfejezetekben tárgyaljuk.

A klinker palánkozásnál a palánkok tetőcserépszerűen fedik egymást, így minden szomszédos palánk egymással és a bordákkal is össze van kötve (6.11. ábra). Ez nagyon nagy szilárdságot biztosít a szerkezetnek. A klinker palánkozás készítése könnyebb, mint a többi módszer, mert a palánkokat nem kell annyira pontosan egymáshoz illeszteni, és a tömítés sem gond a palánkok átfedése miatt. Ugyanakkor pontosan ez az átfedés adja az egyik legfőbb hátrányt is: a hajótest sem kívül, sem belül nem sima. Az első nagyobb nedvesített felületet és ellenállást jelent, a második pedig azt, hogy az ilyen hajót nehezebb belülről tisztán tartani. Ez pedig oda vezet, hogy a vályúkban sokszor megáll a víz, amely később a palánkok rohadását okozza. A régebbi konstrukciónál az is ide vezetett, hogy a palánkokat csak csavarok vagy szegecsek kapcsolták egymáshoz, így az átlapolás közé mindig bement a víz. Ma a modern ragasztókkal ez a dolog kiküszöbölhető lenne, de a belső oldali tisztántartás ugyanígy nehéz marad. Ezért ezt a technikát ma már csak kisebb csónakoknál, egy-két régebbi típusnál, replikáknál alkalmazzák.



6.11. ábra: Klinker és karvel palánkozás a) normál és b) dugaroláshoz előkészített palánkokkal

Karvel palánkozásnál a palánkok élükkel találkoznak, teljesen sima felületet hozva létre. A palánkokat csak a keresztirányú elemek (bordák, fenékmerevítők) kötik össze, ezért az így készített szerkezet nem képes ellenállni nagyobb csavarásnak. Vitorlás hajók építésére csak úgy használható a módszer, hogy a palánkokat nagyon pontosan és szorosan illesztik. Így csavaró igénybevételek esetén a palánkok nyomása és a köztük jelentkező súrlódás megakadályozza a palánkélek elcsúszását egymáson. Új karvel palánkozású hajók építésénél már lehetőség van nagy szilárdságú ragasztóanyagok használatára, amellyel kielégítő csavarómerevsége lehet a szerkezetnek.

A szoros illesztés vagy a ragasztás biztosítja a tömítést is. A csak illesztett palánkoknál azonban – a fa zsugorodásából, dagadásából következően – megvolt az a veszély, hogy a héjazaton rések keletkeznek. A régi hajók építésekor ezért kellően száraz és keveset zsugorodó faanyagot használtak és a palánkok közé kátrányos kendert ütöttek be (dugarolás) a nyomás további növelésére.



Forrás: [www.denmanmarine.com.au/id75.html](http://www.denmanmarine.com.au/id75.html)

6.12. ábra: Klinker palánkozás





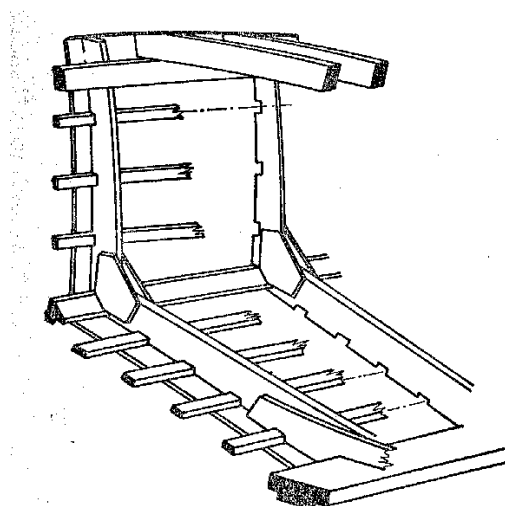
Forrás: [www.woodboatbuilder.com/pages/maid-planking.html](http://www.woodboatbuilder.com/pages/maid-planking.html)

6.13. ábra: Karvel palánkozás készítése

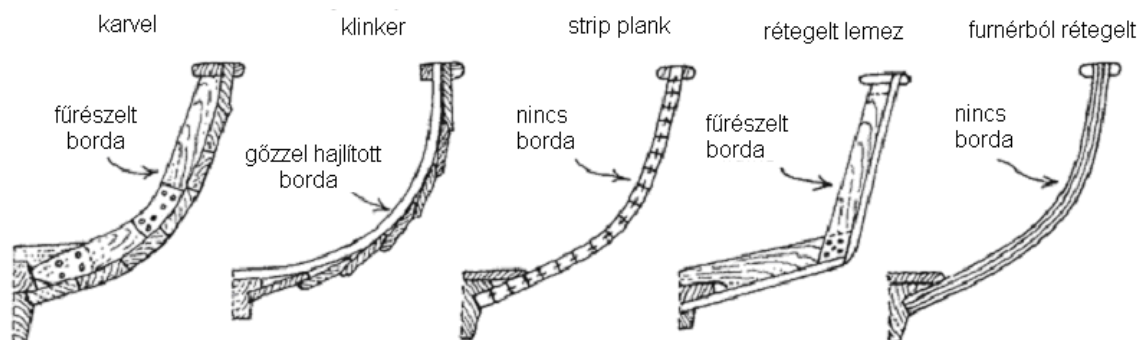
A karvel palánkozás egyik változatának tekinthető a dupla palánkolás. Ebben az esetben egy vékonyabb belső és egy vastagabb külső palánkot tesznek fel a vázra. A külső azért vastagabb, hogy a belsőt hozzá lehessen csavarozni és abból kell a felületképzés során lecsiszolni. A két palánkréteget ma már mindig összeragasztják. Ennek a módszernek az az előnye, hogy a héjalásnak nagyobb a merevsége, mint a hagyományos karvel palánkozásnál. A 20. század elején az America's Cup-ra épített verseny-yachtokon tripla palánkozást alkalmaztak, ráadásul úgy, hogy különböző fafajtákat használtak kívül és belül, középen pedig egy könnyebb típust, mintegy maganyagként. Ezzel nagyon szilárd hajótestet nyertek, amelybe relatíve kevés bordát kellett beépíteni.

Egy további lehetséges megoldás a diagonál palánkozás, amikor két réteg palánksort egymáshoz 90°-ban, a hajó hossz tengelyéhez képest pedig 45°-ban helyeztek el. Ez is rendkívül nagy szilárdságot biztosít, belső bordákra csak helyileg van szükség.

Hosszbordás palánkozást általában sarkos hajóknál szoktak alkalmazni. Ilyenkor a palánkozás előtt a hosszbordák léceit el kell helyezni a keresztbordázatban. A hosszbordák azonban nem annyira bordák, sokkal inkább széles-lapos elemek azért, hogy az előttük levő palánkok szélei hozzáerősíthetők legyenek. A palánkok alakja, illeszkedésük a karvel módszerrel azonos. A héjalás így kívülről a karvel palánkhoz hasonlóan sima lesz, a palánkok közötti tömítést a hosszbordák jelentik. A palánkokat ezért nem kell olyan pontosan illeszteni egymáshoz.



6.14. ábra: Hosszbordás palánkozás váza



Forrás: www.glen-l.com

6.15. ábra: A különböző héjalások összehasonlítása

## 6.2 Lécezett külháj készítése

Ezt az eljárást inkább csak kerek bordaformájú vitorlásoknál vagy kisebb csónakoknál, kajakoknál, kenuknál szokták alkalmazni (sík felületeket más módszerrel könnyebb kialakítani, ívest viszont így). A léc oldalainak arányai a palánk arányaihoz képest kisebbek, a léc szélessége a vastagságának maximum 1,5-2-szerese, ezzel gyakorlatilag olyan felület képezhető, amely nagyon kevés utómunkát igényel. A lécezéssel készített külháj formatar-tása a korábban ismertetett módszerekkel készült külhájához képest lényegesen nagyobb, a furnérból készített háj merevségével vetekszik. Az építéshez jellemzően vörös cédrust, kisebb igénybevételeknél Douglas-fenyőt használnak, de a látvány érdekében szóba jöhet a mahagóni is.

Az eljárást a [www.jordanboats.co.uk](http://www.jordanboats.co.uk) oldalról származó képsorozat segítségével mutatjuk be. A munka itt is az állványzat és a lécek méretéhez igazodó közökkel rendelkező bordaváz felállításával kezdődik. A bordák lehetnek a héjazatot belülről ténylegesen is merevítő bordák, de akár csak az építés idejére elhelyezett ideiglenes segédbordák is.



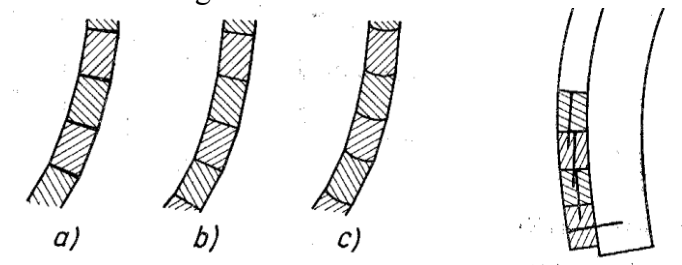
6.16. ábra: A bordaváz felállítása, a gerinc és a koszorúlécelhelyezése

A léceket az építés megkezdése előtt a kellő hosszúságúra kell toldani hosszú ferde átlaplással.



6.17. ábra: A lécek felerősítése a fedélzettől kezdve

Egyszerűbb kivitelnél vagy kisebb bordaívknél a lécek téglalap keresztmetszete nem eredményez a lécek között nagy hornyokat (6.18. a. ábra). Ha nagyobb a bordák görbülete, akkor célszerű a lécek alsó és felső felületét egymáshoz képest kicsit kúposra munkálni (6.18. b. ábra) vagy párhuzamosan ívekre marni (6.18. c. ábra) annak érdekében, hogy az íves bordametszetekre felfektetve a lécek között ne alakuljon ki horony. A lécek felrakását itt is vagy a fedélzettől vagy a gerinctől kell kezdeni. A léceket régebben egymáshoz szegezték, ma azonban sokszor epoxi alapú ragasztóval egymáshoz is ragasztják, mely tovább növeli a szerkezet hossz-szilárdságát.



6.18. ábra: A lécek kialakításának és rögzítésének lehetőségei

Ha kész a lécezés, akkor finoman átsiszolják a felületet, hogy a lécek csatlakozásánál levő élek eltűnjenek. Ez után következik a faanyag epoxival való impregnálása, majd egy külső



üvegréteg felhordása a teljes vízzárás és a fa részek védelme érdekében. Amennyiben natúr hajó készül, ez az üvegszálak borítás ún. transzparens (átlátszó) gyantával kell készüdjön. Ha az állványzat és a bordák felállítása valamint a lécezés kellően gondos volt, akkor a felület minden bizonnyal kielégítő minőségű lesz. Ha ez nem mondható el, akkor szükség lehet a felület gittelésére is (ez persze már nem teszi lehetővé natúr hajó készítését). Itt sem célszerű a végleges rétegeket felhordani a külhéra, hiszen elkerülhetetlen, hogy azok az építés további fázisaiban ne sérüljenek meg. A hajótest megfordítása után következhetnek a belső munkálatok és a fedélzet építése.



6.19. ábra: Impregnálás és laminálás



6.20. ábra: A kész külháj és a belső munkálatok

### 6.3 Külháj készítése furnérból

A furnérból készített külháj – a diagonál-palánkozáshoz hasonlóan – egymást keresztező furnércsíkrok egymásra ragasztásával készül. Ennek megfelelően igen szilárd héjszerkezetet lehet előállítani, belső merevítésre alig van szükség, hajómérettől függően mindössze egyik keretbordára vagy válaszfalra (amely a térbeosztás miatt egyébként is kell), és fenék-merevítőkre. A szerkezet a vékony rétegek közötti ragasztás révén igen vízzáró és méretét gyakorlatilag nem változtatja. Ennek oka, hogy a jó minőségű ragasztó bediffundál a fa



rostjai, szálai közé, pontosan azokra a helyekre, ahova a víz is mehetne, de ott megkötve egy pórusaiban zárt anyagszerkezetet hoz létre. A gyártástechnológiát a [www.martinyachts.com](http://www.martinyachts.com) honlapon található képek segítségével mutatjuk be.

A héjszerkezet gyártása természetesen ennél a módszernél is a váz elkészítésével kezdődik. Itt azonban a váz szinte teljes egészében csak segédeszköz, kivéve azokat az alkatrészeket, amelyek egy ilyen hajóba is kellenek merevítésként. Ezek, ahogy az előzőekben írtuk, a gerinc és a fenékbordák valamint a fedélzeti bordák megtámasztását is szolgáló koszorúléc. A bordaváz (6.21. ábra) általában táblás anyagból (rétegelt lemez, MDF lap) kerül kivágásra, egyes esetekben úgy, hogy akár a későbbiek során újból felhasználható legyen. Ma már a bordákat jellemzően számítógéppel vezérelt maróval vágják ki. A bordaváz felállításánál a korábban részletezett ellenőrzéseket kell elvégezni. Mivel a furnérok felrakásához szükség van a hajó formájára, ezért az elkészült bordavázat be kell lécezni. A léceknek azonban nem szükséges a teljes felületet befedni, a lécköz függ az alkalmazni kívánt furnér vastagságától. A lécezés (6.22. ábra) további funkciója, hogy a bordavázat oly mértékben merevítse, hogy az képes legyen ellenállni a gyártás közbeni terhelésnek (emberek járnak a felületen, ragasztási nyomás). A lécezés által létrehozott felület és a gerinc valamint az egyéb bennmaradó elemek felülete igazodik egymáshoz, ez lesz a hajó héjának belső felülete. A bordák visszamérésének mértékét a léc vastagságának figyelembevételével kell meghatározni.

Ha a váz ilyen módon elkészült és az ellenőrzés során a formát megfelelőnek találtuk, akkor következhet az első furnérréteg. Először a furnér csíkokat szárazon (ragasztás nélkül) helyezik el és pontosan egymáshoz szabják, majd megszámozzák. Levétel után a ragasztó felhordása jön, de az első réteget természetesen csak azokhoz az elemekhez ragaszthatjuk hozzá, amelyek a hajó részei lesznek (gerinc stb.), a többi léchez csak ideiglenes módon szabad rögzíteni. A furnérokot ennél az építési technikánál réz kapsokkal sűrített levegővel működő pisztoly segítségével rögzítik a vázon. A kapsok alá mindig erős műanyag szalagot tesznek, amivel a kapsok kitéphetők, eltávolíthatók a ragasztó megkötése után (6.24. ábra). Az első réteg elhelyezése után a felület átcsiszolása, az esetleges hullámok eltávolítása következik. A portalanítás után megkezdhető a második réteg beszabása és felragasztása az elsőhöz hasonló módon, annyi különbséggel, hogy itt már teljes felületen lehet ragasztani a csíkokat. A további rétegek (akár 7-8 is, a furnérvastagságtól és hajómérettől függően) feldolgozása az utolsót leszámítva ugyanígy történik. Az utolsó rétegnek általában esztétikai funkciót is be kell tölteni, hiszen az így épített hajók nagy többségét csak lakkozzák, a hajó külhéja natúr marad. Általában ezért az utolsó réteget a vízvonallal párhuzamosan dolgozzák fel. Ennél nem kapsokkal adják meg a szükséges ragasztási nyomást, hanem vákuum-fóliás technológia alkalmazásával (ld. később a műanyag hajók gyártástechnológiájának ismertetésénél). A kapsok nyoma (kapsokonként két fekete pont) ugyanis kihúzás után is megmarad. Figyelembe véve, hogy egy kisebb hajónál is milliós nagyságrendben használnak kapsokat, ez igen komoly esztétikai problémát jelent a külső, látszó rétegnél. Az utolsó réteg után is következik a felület átcsiszolása. A hajó felületkezelése vagy még ekkor, vagy csak a teljes hajó elkészültével már a megfordított állapotában történik.



6.21. ábra: A gerinc elhelyezése a bordavázon



6.22. ábra: A belécezett váz, középen a benntartó fenekbordák



6.23. ábra: Az első réteg, még szárazon



6.24. ábra: A csikok rögzítése kapcsokkal





6.25. ábra: Az utolsó réteg vákuumozása



6.26. ábra: A kész héjazat





6.27. ábra: A test megfordítása



6.28. ábra: A héj belülről (látszik, hogy nincs benne felületi merevítés)

#### 6.4 Külhéj készítése rétegelt lemezből

Mint azt az anyagok bemutatásánál láttuk, a rétegelt lemez kiválóan alkalmas amatőr hajóépítésre. Az alapanyag speciális tulajdonságai miatt azonban a hajó a korábbiaktól eltérő szerkezetet kíván, ill. tesz lehetővé, és ez az építés módját is befolyásolja.

A rétegelt lemez jellegénél fogva nem igényel olyan merevítést, mint a palánkozás, ezért általában kevesebb számú bennmaradó keresztirányú, ún. keretbordára elhelyezett kisebb hosszmerevítőkkel lehet készíteni a hajókat. Helyes tervezés, az osztásköz nemcsak szilárdsághoz, hanem technológiához is igazodó méretének megválasztása esetén igen könnyű, jó minőségű hajó készíthető. A szerkezet tervezésekor azonban figyelembe kell venni azt, hogy a rétegelt lemez és a tömör fa a méretét különböző mértékben változtatja, ami feszültségekhez, repedésekhez vezethet, valamint hogy a rétegelt lemez élei a vízbehatolással szemben kellően védettek legyenek (ne csak a felületi bevonat, hanem egy másik szerkezeti elem is lezárja azt).

Rétegelt lemezből elsősorban sarkos építésű, kiteríthető (síkba fejthető) külhéjjal rendelkező hajók építhetők, bár vannak megoldások kerekített medervonalú vitorlások készítésére is. Ebben az esetben a medersori részen két réteg fele olyan vastagságú lemezt alkalmaznak, mint amilyen a külhéj egyéb részein. A gyártás menetét egy ilyen hajó építése során készített felvételek segítségével mutatjuk be. (A hajót Csaba Tamás készítette, az építésről további információk találhatóak a [http://www.concordia.matav.hu/hajo/index\\_h.htm](http://www.concordia.matav.hu/hajo/index_h.htm) oldalon.)

Természetesen az építés itt is az egyes alkatrészek legyártásával kezdődik. A rétegelt lemezből készülő hajók keretbordái szintén rétegelt lemezből készülnek, modern terveknel a bordákat számítógéppel vezérelt maróval vágják ki. A hosszmerevítők azonban itt is tömör fából a tervek szerinti méretre kimunkált lécek, melyeket a szükséges méretűre kell toldani. A váz elkészítése hasonlóan történik, azonban a célszerűség kedvéért a hajót általában fordított módon szokták építeni. A bordák fogadására készített tartószerkezet lehet fából, ahogy azt korábban láttuk, de készülhet acélból is (6.29. ábra), mely gyakorlatilag nem változtatja méretét a levegő állapotától függően. Ez pontosabb építést tesz lehetővé. A keretbordák vázra felrakása után (6.30. ábra) ugyanúgy nagyon fontos a bordák beállításának ellenőrzése. A következő lépés a gerinc, az orrtőke, a koszorúléc, sarkos építésű hajóknál a sarokléc valamint a tükör beállítása (6.31. ábra). A hosszanti elemek az előre elkészített fészekbe ülnek bele, amelyet vagy már a bordák kivágásánál vagy később a bordaváz felállításánál készítenek el.



6.29. ábra: Építőállvány acélból



6.30. ábra: A felrakott bordák

Kismértékű utómunkára a bordák CNC vágása után is szükség van, hiszen a CNC síkmaró nem tud rézselést kialakítani. Az egyes elemek a méretek pontos kialakításáig csavarozással kerülnek rögzítésre, utána viszont a legjobb megoldás az epoxi alapú ragasztók használata. Mindezek után a bordák által kiadott felület görbületét, simaságát ellenőrizni kell és ha szükséges, akkor javítani kell.



6.31. ábra: A hajótest váza



Ezek után jöhet a külháj lemezek méretre szabása, ha az nem CNC-vel készült. A kiszabásnál először csak az egyik oldali lemezt vágják ki, amelynek megfordítva a másik oldalra is passzolni kell. Ez egyben jó ellenőrzése a hajótest szimmetriájának is. Ragasztás előtt a lemezeket ideiglenesen csavarokkal vagy szorítókkal rögzítik, és pontosan kimunkálják a lemezek és a gerinc, orrtőke és egyéb elemek csatlakozási helyeit. A lemezelés előtt célszerű az összes csatlakozó felületet impregnálni. Nagyobb méretű hajónál a külháj több táblából kell készüljön, ilyenkor szükség van a táblák toldására. Ennek legjobb módja rétegelt lemeznél is a ferde rálapolás jó minőségű ragasztással. A táblákat itt is szimmetrikusan oldalanként váltakozva kell rögzíteni a deformációk elkerülése végett. Minden beépített elem után célszerű a formát ellenőrizni különösen akkor, ha nagyobb erőhatás szükséges a lemezek helyükre illesztéséhez.



6.32. ábra: A kiteríthető lemezek felrakása



6.33. ábra: A belső „sarokvarratok”

Az említett vitorlás hajónál először a háj azon részeit készítették el, amelyek kiteríthetőek voltak (fenék és oldal, 6.32. ábra). A lemezeket nemcsak kívülről ragasztják rá a hosszanti elemekre, de azok élénél belülről az 6.33. ábrán látható módon mintegy „sarokvarratot” képezve a kötést epoxi-gittel még meg is erősítik.

A medersori íves – kétirányú görbülettel rendelkező – rész kialakítása két réteg 3 mm vastag rétegelt lemezzel történt úgy, hogy ezek a lemezek mindössze 15-20 cm széles csíkok voltak (6.34. ábra). Ennél a kb. 10 m-es hajónál ezek a méretek biztosították azt, hogy a csíkok egymás mellett elhelyezve minimális töréssel feküdtek fel a medersor hosszirányú ívére és keresztirányban a medersor ívére. Az első réteg csíkjainak kiszabása után azokat a



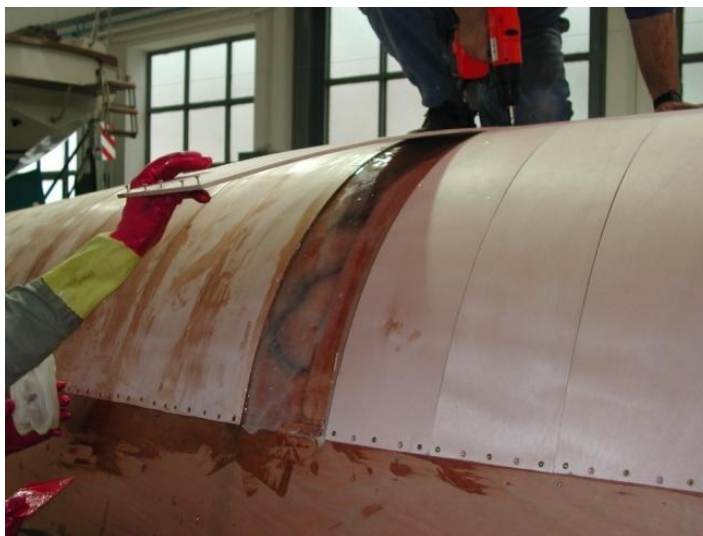
helyükre ragasztották, a ragasztáshoz szükséges nyomást a csíkok végén a csavarozás biztosította. A csíkok közötti minimális törés miatt a ragasztás után azonban szükség volt a felület átcsiszolására (6.35. ábra). A második réteg beszábaása az elsőhöz hasonlóan történik, de az egyes csíkok toldása természetesen nem ugyanott helyezkedik el (6.36. ábra). A második réteg az elsőn túlnyúlik, ehhez a fenék- és oldallemezekben a csík vastagságának megfelelő aljazásra van szükség. Mindez azonban biztosítja a tökéletes zárást a héjazaton. Természetesen a második réteget is át kell csiszolni, de ezt már lehet a hajó többi részével együtt. Amennyiben a felület kívánja, gittelés is következhet. Ahogy a lécezett külhájú hajónál, így itt is javasolt a felület vékony üvegszövetrel való lelaminalása. Ez után következhet a végleges felületképzés.



6.34. ábra: A medersori csíkok rögzítés



6.35. ábra: A felület átcsiszolása



6.36. ábra: A második réteg felragasztása



6.37. ábra: Gittelés-csiszolás

A kész (vagy majdnem kész) felület után a hajótest megfordítása és a belső bútorzat, valamint a fedélzet elkészítése következik (ld. külön alfejezet).

## 6.5 Fedélzet készítése

A külhøj elkészítése (és fordított építésnél a hajótest megfordítása) után következhet a fedélzet építése. Általában a fedélzet kismértékű íveléssel rendelkezik, ez azonban nem elegendő ahhoz, hogy az merevítőrendszer nélkül megálljon. Ezért a fedélzet – bármilyen módszerrel építettük is a külhøjat – mindig fedélzeti bordákra épül. Ezek adják meg a fedélzet rajz szerint alakját. A fedélzet bordázata mindig keresztrendszerű, így ha a külhøj is ilyen rendszerben épült, akkor a fedélzeti bordákat a test bordáihoz lehet rögzíteni a fedélzet szélénél. Ha a hajóban nincsenek bordák a hējázat merevítésére, akkor a fedélzeti bordákat a fedélzet szélét merevítő koszorúlécre támasztják és ahhoz rögzítik (csapolással, ragasztással, csavarozással).



6.38. ábra: A fedélzeti bordák beépítése

A fedélzet építése a bordák elkészítésével kezdődik. A bordák lehetnek tömör fából kivágtak, hajlítottak, vagy formára ragasztottak. Mindig a legmagasabb és leghosszabb borda beépítésével kezdődik, a többit ehhez igazítjuk. A végleges rögzítés csak az összes borda bepróbálása után következhet. A nagyobb terhelésnek kitett helyeken a bordákat függő és vízszintes könyökökkel is meg szokták támasztani (pl. árboc átvezetésénél).

A hajón több helyen szükség van a fedélzet felületének megnyitására (pl. horgonykamra, búvónyílások), ezeken a helyeken az elvágott keresztirányú fedélzeti bordákat ugyanolyan szilárdságú hosszanti elemekkel kell kiváltani (átkötni a meg nem szakított keresztbordákhoz). Nagyobb nyílásoknál (kajüttető, munkatér) a nyílást nagyobb méretű tartóval kell szegélyezni, ennek a szilárdság növelése mellett az is feladata, hogy a kajüttető falát, annak bordáit lehessen hozzá rögzíteni. Ha a bordázás elkészült, következhet a fedélzet héjalása, burkolása. A felületet – melynek ugyanolyan vízzárónak kell lenni, mint a külhéjnak – régen lécezéssel vagy rétegelt lemezzel készítették, amelyet aztán vászonnal beborítottak. A vásznazás lefestve válik csak vízállóvá, azonban nagyon ügyelni kell a nyílásoknál a vászon felhajtására. Önmagában lécezéssel csak kisebb hajók fedélzetét készítették (pl. mahagóniból, okuméból natúrlakkozással), a nagyobb hajóknál ma már mindig alkalmaznak egy (esetleg csak vékonyabb) rétegelt lemezt, és azon készítik el a dekoratív fedélzetlécezést, általában teakfából (6.39. ábra).





6.39. ábra: Teakfa lécezés készítése rétegelt lemez alapra



6.40. ábra: A kajüt oldalfala rétegrasztással is készíthető

A hajók felépítményének (kajüt) oldalfalát a nyíláskeret-szegélyhez építik. Az oldalfal lehet tömör fából, de nagyobb görbületek esetén készülhet formára ragasztással is (6.40. ábra). Sarkos építésű kajüt inkább a motorosokra jellemző, itt alkalmazható a rétegelt lemez is. A kajüt-tető vagy a korábbiakhoz hasonlóan bordázatra épül lécezéssel (6.41. ábra), vagy akár ezt is lehet formára ragasztással készíteni.



6.41. ábra: A kajüttető bordáinak beépítése



## 7. ÁBRAJEGYZÉK

1.1. ábra: A műszaki előkészítés blokkvázlata .....	11
1.2. ábra: Kotróhajó szerelőpartfalnál az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország).....	13
1.3. ábra: A Meyer Hajógyár felépítése (Papenburg, Németország).....	15
1.4. ábra: Az SLKB hajógyár (Révkomárom, Szlovákia) .....	15
1.5. ábra: Rajzpadlás a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína) .....	17
1.6. ábra: Vonalterv rajzolása delfinekkel leszorított svungléccel .....	18
1.7. ábra: A rajzpadlás által készített sablonok és szabástervek.....	18
1.8. ábra: A hajógyártás számítógépes rendszere .....	21
1.9. ábra: Beszállított alkatrészek tárolása a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína).....	22
1.10. ábra: Alapanyag raktározás a Severnav hajógyárban (Szörénytornya, Románia).....	23
1.11. ábra: Alapanyag raktározás a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína).....	23
1.12. ábra: Lemeztáblák lángvágás előtt, az ütemtárolóban. (Uljanik hajógyár, Pula, Horvátország) .....	24
1.13. ábra: Mágneses lemezemelő gerenda a Severnav hajógyárban (Szörénytornya, Románia) .....	25
1.14. ábra: Görgősor a lemeztáblák mozgatásához a Severnav hajógyárban .....	25
2.1. ábra: Az alkatrészgyártás olyamata .....	26
2.2. ábra: Lemezegyengető gépsor az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia) .....	27
2.3. ábra: Kézi drótkefe .....	30
2.4. ábra: Kúp alakú gépi drótkefe .....	31
2.5. ábra: Lemezelőkészítő gépsor a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína).....	32
2.6. ábra: A mechanikus lemezvágás főbb típusai.....	38
2.7. ábra: Kézi lemezolló .....	38
2.8. ábra: Karos lemezolló a Furtinox Kft.-nél (Budapest) .....	39
2.9. ábra: Ferdeéles lemezolló a Furtinox Kft.-nél (Budapest) .....	39

2.10. ábra: A lángvágás folyamata .....	40
2.11. ábra: Többfejes lángvágó gép a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	40
2.12. ábra: NC lángvágó asztal a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	41
2.13. ábra: A védőgázos plazmavágás folyamata .....	41
2.14. ábra: A sűrített levegős plazmavágás vázlata.....	42
2.15. ábra: A vízplazma vágás vázlata .....	42
2.16. ábra: Lengőasztalos élhajlító a Furtinox Kft.-nél (Budapest) .....	44
2.17. ábra: Prizmás élhajlító gép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország) .....	45
2.18. ábra: Prizmás élhajlítás a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	45
2.19. ábra: Lemezhajlító hengerlőgép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország) .....	46
2.20. ábra: Lemezhajlítás hengerléssel a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	46
2.21. ábra: Domborító és hajlító sajtók az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország).....	47
2.22. ábra: Domborító sajtó az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia) .....	48
2.23. ábra: Lemezhajlítás hőékekkel .....	49
2.24. ábra: Lemez egyengetés a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	49
2.25. ábra: Lemez egyengetés a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	50
2.26. ábra: Bordahajlítás melegalakítással .....	50
2.27. ábra: Profilhajlító gép a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország).....	51
2.28. ábra: Görgős csőhajlító a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	51
2.29. ábra: Nyújtva hajlítás .....	52
2.30. ábra: Gázhegesztő készülék a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	53
2.31. ábra: Lángtípusok a lánghegesztésnél .....	54
2.32. ábra: A villamos ívhegesztés hajógyártásban alkalmazott típusai .....	55
2.33. ábra: Bevonatos elektródák kézi ívhegesztéshez .....	55
2.34. ábra: Fedőporos ívhegesztés.....	56
2.35. ábra: Fusarc ívhegesztés.....	57

2.36. ábra: Gyökvarrat képzési módszerek egyoldali hegesztésnél.....	57
2.37. ábra: Argon védőgázos, wolfram elektródás kézi ívhegesztő a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	58
2.38. ábra: CO <sub>2</sub> védőgázos, fogyó elektródás ívhegesztő pisztoly a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	58
2.39. ábra: CO <sub>2</sub> védőgázos, fogyó elektródás ívhegesztő készülék a Furtinox Kft.-nél (Budapest).....	59
2.40. ábra: Függőleges, salak alatti ívhegesztés .....	59
2.41. ábra: Függőleges, védőgázos ívhegesztés .....	60
2.42. ábra: Csaphegesztés.....	60
2.43. ábra: Lemezvég kialakítások hegesztéshez .....	61
2.44. ábra: Hegesztési varrat kialakítási módok .....	61
2.45. ábra: Folyamatos varrat szakaszos képzése ráklépéses és vándorló hegesztéssel.....	62
2.46. ábra: Hegesztési varrathibák.....	63
2.47. ábra: Hegesztési varratok ellenőrzése a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína) .....	64
3.1. ábra: Hagyományos hajóépítés a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína) .....	67
3.2. ábra: Síkszekció a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország).....	69
3.3. ábra: Öntöttvas a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	70
3.4. ábra: Síkszekcióépítő padozat az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia).....	71
3.5. ábra: Orr-rész konduktor az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia).....	71
3.6. ábra: Bordahegesztő gép az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország) .....	72
3.7. ábra: Tércszekció-gyártás félig fedett műhelyben a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	73
3.8. ábra: Tércszekció építése alkatrészekből a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína).....	74
3.9. ábra: Szekciók összehúzatása a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország) .....	74
3.10. ábra: Szekciók összeillesztése és hegesztése az Uljanik hajógyárban (Pula, Horvátország) .....	75
3.11. ábra: Szekcióépítő padozat a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína) .....	75

3.12. ábra: 150t teherbírású hajómozgató kocsik a hajó sólyatérre történő szállításhoz ....	77
3.13. ábra: Szekciómozgató kocsi a Május 3 hajógyárban (Rijeka, Horvátország).....	78
3.14. ábra: Tengelyvonal kitűzés a Dajiang hajógyárban (Wuhu, Kína) .....	79
4.1. ábra: Sólyaszánkó kioldó szerkezet bekötött és nyitott állapotban a Severnav hajógyárban .....	83
4.2. ábra: Sólyaszánkóra átterhelt hajó a Severnav hajógyárban (Szörénytornya, Románia) .....	83
4.3. ábra: Homoktöltéses alátámasztó elem a sólyaszék tetején az Uljanik hajógyárban ...	84
4.4. ábra: Menetes alátámasztó elem a sólyaszék tetején a Severnav hajógyárban .....	84
4.5. ábra: Sólyakocsi kioldó brigádok vízrebocsátásnál a Severnav hajógyárban .....	85
4.6. ábra: Rendezőhajó munkában a vízrebocsátás után a Severnav hajógyárban.....	85
4.7. ábra: Klasszikus hosszirányú vízrebocsátás .....	86
4.8. ábra: Keresztirányú sólyapálya az SLKB hajógyárban (Révkomárom, Szlovákia).....	87
4.9. ábra: 600t teherbírásúsólyakocsi a Jinling hajógyárban (Nanjing, Kína) .....	88
4.10. ábra: A Ganz Danubius hajógyár utolsó tengeri hajójának vízrebocsátása (Budapest, 1992).....	88
4.11. ábra: Billentéses vízrebocsátás.....	90
5.1. ábra: Alumínium hajók építése .....	100
6.1. ábra: Görbén nőtt fadarabok bordák számára .....	102
6.2. ábra: Íves alkatrész készítése elemek sablonra hajlításával és ragasztással .....	103
6.3. ábra: Toldott bordák változatai .....	103
6.4. ábra: Egyenes építési mód.....	104
6.5. ábra: Építő iker-gerenda fordított építési módnál .....	105
6.6. ábra: Orrtőke csatlakozása gerinchez.....	106
6.7. ábra: Tükör és gerinc összeerősítése .....	106
6.8. ábra: Gerinc és borda csatlakozása fordított építési módnál .....	106
6.9. ábra: Sarokléc beépítése a) rálapolással, b) aljazással .....	107



6.10. ábra: A kész váz.....	107
6.11. ábra: Klinker és karvel palánkozás a) normál és b) dugaroláshoz előkészített palánkokkal.....	108
6.12. ábra: Klinker palánkozás .....	108
6.13. ábra: Karvel palánkozás készítése .....	109
6.14. ábra: Hosszbordás palánkozás váza.....	110
6.15. ábra: A különböző héjalások összehasonlítása.....	110
6.16. ábra: A bordaváz felállítása, a gerinc és a koszorúlécelhelyezése .....	111
6.17. ábra: A lécek felerősítése a fedélzettől kezdve.....	111
6.18. ábra: A lécek kialakításának és rögzítésének lehetőségei .....	111
6.19. ábra: Impregnálás és laminálás.....	112
6.20. ábra: A kész külháj és a belső munkálatok.....	112
6.21. ábra: A gerinc elhelyezése a bordavázon .....	114
6.22. ábra: A belécezett váz, középen a bennmaradó fenékbordák.....	114
6.23. ábra: Az első réteg, még szárazon .....	115
6.24. ábra: A csíkok rögzítése kapcsokkal .....	115
6.25. ábra: Az utolsó réteg vákuumozása .....	116
6.26. ábra: A kész héjazat.....	116
6.27. ábra: A test megfordítása.....	117
6.28. ábra: A háj belülről (látszik,hogy nincs benne felületi merevítés .....	117
6.29. ábra: Építőállvány acélból .....	118
6.30. ábra:A felrakott bordák.....	119
6.31. ábra: A hajótest váza.....	119
6.32. ábra: A kiteríthető lemezek felrakása .....	120
6.33. ábra: A belső „sarokvarratok” .....	120
6.34. ábra: A medersori csíkok rögzítés .....	121

---

6.35. ábra: A felület átcsiszolása.....	121
6.36. ábra: A második réteg felragasztása.....	122
6.37. ábra: Gittelés-csiszolás.....	122
6.38. ábra: A fedélzeti bordák beépítése .....	123
6.39. ábra: Teakfa lécezés készítése rétegelt lemez alapra.....	124
6.40. ábra: A kajüt oldalfala rétegragasztással is készíthető .....	124
6.41. ábra: A kajüttető bordáinak beépítése .....	124

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

### 1. fejezet

- Visi I., *A hajógyártás technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964  
Komm F., *Hajók Kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981  
Eyres, D. J., *Ship construction*, Butterworth-Heinemann, 2001  
Domány Á., *A papenburgai hajógyár bemutatása*, házi dolgozat, Budapest, 2009

### 2 fejezet

- Visi I., *A hajógyártás technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964  
Komm F., *Hajók Kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981  
Eyres, D. J., *Ship construction*, Butterworth-Heinemann, 2001

### 3. fejezet

- Visi I., *A hajógyártás technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964  
Komm F., *Hajók Kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981  
Eyres, D. J., *Ship construction*, Butterworth-Heinemann, 2001

### 4. fejezet

- Visi I., *A hajógyártás technológiája*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964  
Komm F., *Hajók Kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981  
Eyres, D. J., *Ship construction*, Butterworth-Heinemann, 2001

### 5. fejezet

- Claughton, Wellicom, Sheno, *Sailing Yacht Design, Theory*, Addison Wesley Longman Ltd., 1998.  
Becske Ö., *Kishajók szerkesztése és építése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.  
Steward, R., M., *Boatbuilding Manual*, 4th edition, International Marine/McGraw-Hill, 1994.  
Gerr, D., *The Nature of Boats*, International Marine/McGraw-Hill, 1995.  
Gerr, D., *Boat Strength*, Adlars Cole Nautical, 2000.  
Roberts, B., *The complete guide to metal boats*, International Marine/McGraw-Hill, 2001.  
Gurit, *Gurit Guide to Composites*, [www.gurit.com](http://www.gurit.com)  
[www.jafholz.hu](http://www.jafholz.hu)  
[www.sykestimber.co.uk](http://www.sykestimber.co.uk)

### 6. fejezet

- Becske Ö., *Kishajók szerkesztése és építése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.  
Steward, R., M., *Boatbuilding Manual*, 4th edition, International Marine/McGraw-Hill, 1994.  
[www.martinyachts.com](http://www.martinyachts.com)  
[www.jordanboats.co.uk](http://www.jordanboats.co.uk)  
[www.concordia.matav.hu/hajo/index\\_h.htm](http://www.concordia.matav.hu/hajo/index_h.htm)  
Pace, F., *Klassische Yachten*, Delius Klasing, 1995