

Esettanulmány

Evezőlapát anyagválasztás a Cambridge Engineering Selector programmal

Név:

Neptun kód:

Miskolc

2014

Evezőlapát anyagválasztás

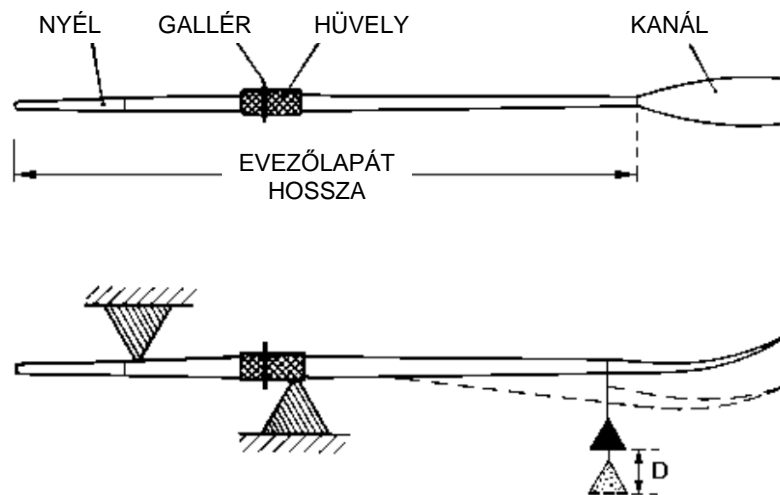
Az evezőlapáttal hajtott hajók felfedezése egészen az ókori Egyiptomhoz nyúlik vissza. Evezős hajók már a Krisztus előtti 3300 körüli dombormű metszeteken megfigyelhetők. Csónakok, hajók hajtására kezdetekben csónak rudat, vitorlát és evezőlapátokat alkalmaztak. Nem kétséges, hogy e három közül az evezőlapát biztosítja a legnagyobb kontrollt: ennek katonai jelentőségét felismerve építették hajóikat az ókori rómaiak, a vikingek, vagy a velencei kalimárok egyaránt.

Az Oxford és Cambridge között a Temzén lebonyolított csónakversenyek 1716-ban kezdődtek. Kezdetben a versenyzők az embereket és árukat szállító csónakosok voltak. A verseny az évek során egyre nemesebbé vált és a két egyetemi város diákjai lettek a versenyzők. Ez mind a szabályok, mind pedig az alkalmazott eszközök terén egyre kifinomultabb módszerek alkalmazásához vezetett. Az igazán hatalmas fejlesztési verseny az 1900-as évek elején indult meg, amikor az evezés olimpiai sportág lett. Ez az anyagválasztási példa korszerű anyagfejlesztés eredményeinek evezőlapátok anyagválasztásában való alkalmazását mutatja be.

1. A funkció és az ez alapján megalkotott mechanikai modell

Az evezőlapát funkcióját tekintve egy könnyű sporthajó dinamikus evezésére alkalmas eszközhöz tekinthető. Az evezőlapát kialakítását és funkcionális elemeit az 1. ábra mutatja. Az ábra, valamint az evezőlapáttal szemben támasztott követelmények alapján megalkotható a mechanikai modell.

Mechanikai szempontból az evezőlapát egy hajlításra igénybevett tartónak tekinthető.



1. ábra. Elvi ábra evezőlapát anyagválasztásához

A modellalkotáshoz az alábbi megfontolásokat kell tennünk:

- Az evezőlapátnak kellő szilárdsággal kell rendelkeznie, hogy az evezés során kifejtett hajlító nyomatékot törés nélkül el tudja viselni.
- Kellő merevséggel is kell rendelkeznie, hogy az evező személy dinamizmusát kellően közvetíteni tudja: ez egyúttal a szívósságot illetően is támaszt követelményeket.
- Végül, de nem utolsósorban az evezőlapátnak az előzőekben vázolt követelmények ki-elégítésén túlmenően a lehető legkisebb tömeggel kell rendelkeznie.

2. A követelmények megfogalmazása

A modellalkotásnál tett megfontolásokból kézenfekvően következik a követelmények megfogalmazása. Az evezőlapátnak:

- adott (L) hosszúságúnak kell lennie
- megfelelő szilárdsággal kell rendelkeznie (hajlítószilárdság)
- megfelelő merevséggel is rendelkeznie kell (E)
- a dinamikus hatásokkal szemben is ellenállónak kell lenni (G_c szívósságra vonatkozó követelmény)
- lehetőleg ne legyen túl drága, azaz az egységárra (C_m) vonatkozóan is támasztunk követelményt.

A szilárdsági követelmény teljesítése egyszerű. Az evezőlapátok tervezésénél az egyik legfontosabb szempont a merevségre méretezés: olyan anyagot kell választanunk, amely a terhelés hatására csak megengedett mértékű rugalmas alakváltozást szenved. Az 1. ábra felső részén látható, hogy az evezőlapát „kanala” az evezőlapát nyélhez hogyan csatlakozik. Az evezőlapát megfelelő pozicionálását az evezővillában az ún. gallér és hüvely biztosítja. Az ábra alsó részén pedig az látható, hogyan mérik az evezőlapát merevségét: egy 10 kg tömegű súlyt helyeznek pontosan 2,05 m-re a gallértól és az ennek hatására bekövetkező lehajlást (ΔD) mérik. Egy nem kellő merevségű evezőlapát akár 50 mm-t is deformálódhat, míg egy nagy merevségű csak 30 mm-t. Az evezősök maguk választják meg, hogy evezési stílusuknak milyen típusú (milyen merevségű) evezőlapát felel meg a leginkább. (Természetesen ennek eldöntéséhez kellő tapasztalat szükséges.)

3. A cél meghatározása, a célfüggvény származtatása

Az evezőlapátnak az előírt követelményeknek való megfelelésen túlmenően minél könnyebbnek is kell lennie, mivel a tömege növeli a hajótest vízbemerülését és ezáltal a „vonszolt tömeg” nagyságát is, azaz rontja a versenyképességét. Tehát a cél a minimális tömeg.

Az előzők figyelembevételével, az evezőlapátokkal szemben támasztott főbb követelményeket – a koncepcionális anyagválasztásnál tanultaknak megfelelő rendszerezésben – az 1. táblázat tartalmazza, amely alapján az evezőlapátnak egy könnyű, merev tartónak kell lennie.

1. táblázat. Evezőlapátok tervezési követelményei

FUNKCIÓ	Könnyű, merev tartó
KÖVETELMÉNYEK	(a) adott az L hossz
	(b) előírt az evezőlapát S merevsége
	(c) előírt az evezőlapát szívóssága, $G_c, > 1 \text{ kJ/m}^2$
	(d) előírt a megengedhető költség, $C_m < \text{GBP}100/\text{kg}$
CÉL	Minimális tömeg

A mintapéldáknál bemutatott módon tehát a feladat a tömeg kifejezése az előírt paraméterek és az anyagjellemzők függvényeként, amely összefüggésből az optimalizálandó (jelen esetben az előírt minimális tömeg követelményének figyelembevételével minimalizálandó) anyagindex származtatható.

Az evezőlápát tömegét – az evezőlápát nyelét közelítőleg hengeresnek feltételezve – az alábbi összefüggéssel számolhatjuk:

$$m = AL\rho = R^2\pi L\rho, \quad (1.1)$$

ahol A az evezőlápát keresztmetszete, L a lapát hossza és ρ az evezőlápát anyagának sűrűsége. Az (1.1) egyenlet tkp. a célfüggvény, amelyet optimalizálni (minimalizálni) kell. Az evezőlápát (a tartó) merevsége az

$$S = \frac{CEI}{L^3} \quad (1.2)$$

kifejezéssel számolható, ahol E a rugalmassági modulus, a C konstans értéke az adott hajlítási típusra $C = 24$, míg az I másodrendű inercianyomaték az

$$I = \frac{R^4\pi}{4} \quad (1.3)$$

összefüggéssel határozható meg. Az előző összefüggésekben az S merevség és az L hossz előírt követelményt jelent. Az R rádiusz a szabad geometriai változó, amelyet az (1.2) és az (1.3) összefüggések felhasználásával kiküszöbölhetünk és némi átrendezés után a célt leíró teljesítőképességi egyenletre az

$$m = 2 \left(\frac{SL^5}{\pi C} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho}{E^{1/2}} \right) \quad (1.4)$$

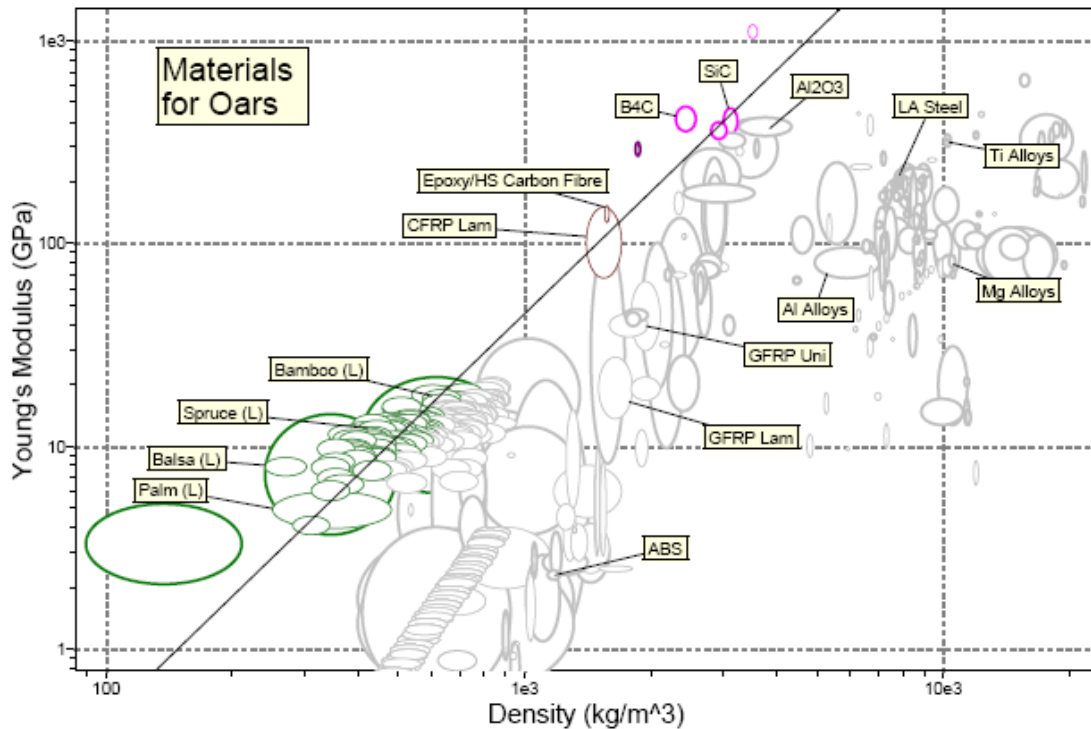
kifejezést kapjuk, az evezőlápát tömegére kifejezve. Mivel a kifejezés első zárójeles tagjában szereplő mennyiségek az előírt geometriai és merevségi paramétereket tartalmazzák, a tömeg minimalizálása az

$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{\rho} \quad (1.5)$$

értékének maximum keresését jelenti. A tervezési követelmények (ld. 1. táblázat) két további követelményt is tartalmaznak, nevezetesen a $G_c > 1 \text{ kJ/m}^2$ előírást a szívósságra, és a $C_m < 3000 \text{ HUF/kg}$ költség előírást. Az anyagválasztásnál e két követelmény teljesülését is biztosítani kell.

4. Az anyagválasztás

Az anyagválasztást két lépésben végezzük el. A 2. ábra a rugalmassági modulus és a sűrűség kapcsolatát mutatja.



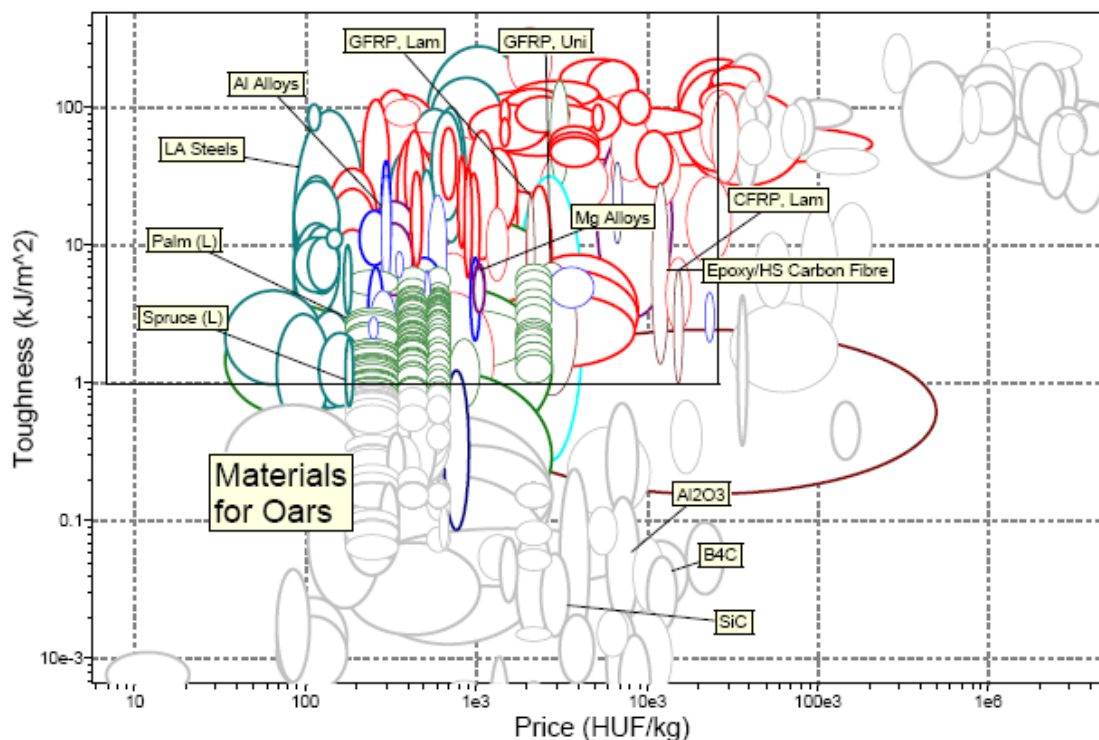
2. ábra. A rugalmassági modulus – sűrűség kapcsolatot ábrázoló buborék diagram

Az ábrába berajzolt vezérvonalat az (1.5) összefüggés logaritmizálásával határozzuk meg, nevezetesen

$$\lg E = 2 \lg \rho + 2 \lg M_1, \quad (1.6)$$

amely $a=2$ iránytangensű egyenest jelent a $\lg E - \lg \rho$ koordináta rendszerben. A minél kisebb tömeg érdekében a vezérvonalat az anyagfőcsoportokat burkológörbéket minél magasabban metsző tartományba kell eltolni. (Az ábrába a vezérvonalat az $M_1 = 6 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{Mg/m}^3)$ értékénél rajzoltuk be.) Ez az anyagok három főcsoportját metszi: a természetes anyagok közül egyes faanyagokat, a karbonszál- és az üvegszál erősítéses polimereket és néhány kerámia anyagot.

A 3. ábra a G_c törési szívósságot az ár függvényében mutatja. A tervezési követelményeknél a törési szívósságra előírt $G_c > 1 \text{ kJ/m}^2$, valamint az ár $< 3000 \text{ Ft/kg}$ követelményt a diagramba berajzolt *box-selection* mutatja.



3. ábra. A G_c törési szívósság változása az ár függvényében

A kétlépéses választás eredményeként kapott anyagokat, az M_1 anyagindexek értékével a 2. táblázatban összegeztük.

2. táblázat. A kétlépésős anyagválasztás néhány jellemző paramétere

Az anyag megnevezése	M_1 (GPa) ^{1/2} /(Mg/m ³)	Megjegyzés
Fa	5 – 8	Olcsó, de az értékek nehezen kontrollálhatók, valamint kis törési szívósság (G_c) jellemző,
CFRP	4 – 8	A vezérgörbe anyagindex tartománya hasonlóan jó, mint a faanyagokra, a tulajdonságai jobban szabályozhatók.
GFRP	2 – 3.5	Olcsóbb, mint a CFRP, de kisebb a törési szívóssága, ($G_{c,GFRP} < G_{c,CFRP}$)
Kerámiák	4 – 8	Kiváló anyagindex (M) tartomány, de rideg, a kis törési szívósság (G_c) miatt nem jöhet számításba.

A táblázati adatok alapján a kerámiákat rideg viselkedésük miatt kizárjuk. Az előírt követelményeket a fa és a szálerősítéssel polimerek egyaránt kielégítik. A tartóssági követelményeket is szem előtt tartva a korszerűbb karbonszál erősítésű polimer anyagot választjuk.