

# A KISMINTAKÍSÉRLETTEL MEGHATÁROZOTT PROPELLERFORDULATSZÁM ÁTSZÁMÍTÁSA

BENEDEK Zoltán

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar  
Járműgépészeti Intézet

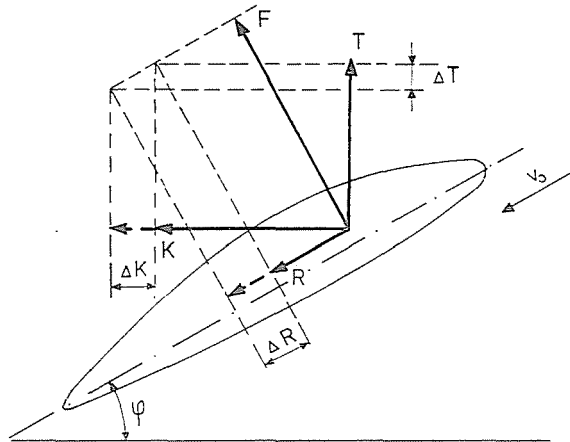
A hajók tervezése során a hajó ellenállásának és a propeller üzemi jellemzőinek a várható értékét kismintakísérletekkel szokás meghatározni. A modellkísérleti intézetek a kismintával végzett mérések eredményeit az eddig megismert hasonlósági törvények alapján számítják át a hajóra. A jelenleg használatos átszámítási módszerek még korántsem tökéletesek. Egyes jellemzők átszámított értéke s a valóságos hajón végzett mérések eredménye kisebb-nagyobb eltérést mutat. Egyik ilyen jellemző adat a propeller üzemi fordulatszám.

A kismintakísérletek eredményeiből átszámított fordulatszám és a valóságos fordulatszám közötti eltérést figyelembe vevő léptékhatás tényezőt a hajókísérleti intézetek közel egy évszázados mérési tapasztalatok alapján állapították meg. E szerint a modellkísérletekből meghatározott fordulatszámot 1 . . . 3%-al megnövelik. A szakirodalom minden esetben ilyen növelést javasol a Reynolds-szám tartománytól és a propeller felületének érdességi viszonyaitól függetlenül.

A kísérleti intézetek által vizsgált hajók döntő többsége közepes, vagy nagy méretű és kis propellerterhelésű tengeri hajó. A hazai hajóiparban épített kis méretű s igen nagy propellerterhelésű hajóknál a hajókísérleti intézetek által megadott várható fordulatszám értékétől lényegesen eltérő üzemi fordulatszámokat mértek. Előfordult az is, hogy az eredeti kivitelnél mért fordulatszám nem nagyobb, hanem kisebb volt, mint a modellkísérletből meghatározott érték.

A léptékhatás jelentős része abból származik, hogy a kisminta és az eredeti kivitel súrlódási viszonyai eltérőek. A kis terhelésű, kis fordulatszámú és nagy méretű tengeri hajócsavaroknál az eltérés kisebb, mivel a kisminta és az eredeti kivitel Reynolds-száma egymáshoz közelebb eső érték, s a szárny felületének relatív érdessége is kevésbé eltérő, mint a nagy terhelésű, nagy fordulatu s nagy propellerterhelésű belvízi hajó csavarjainál.

A súrlódási viszonyok, azaz a Reynolds-szám és a felületi érdesség eltéréseiből származó üzemi jellemzők különbözősését jó közelítéssel figyelembe vehetjük a hajók ellenállásának átszámítására alkalmazott Froude-féle módszerhez hasonlóan.



1. ábra

Feltételezhetjük, hogy a hajócsavar és a modelleszavar szárnymetszetei mentén a nyomás megoszlása hasonló, így a szárnymetszetre ható normálerő és az alakellenállás (a nyomási ellenállás) minden korrekció nélkül átszámítható. Csupán a szárny felületén keletkező súrlódóerő tényezője tér el a kismintán az eredeti hajócsavaréhoz képest.

Az 1. ábrán felrajzoltuk a szárnymetszetre ható erőket. A folyamatos vonallal rajzolt erők a modelleszavaron keletkező (az eredeti kivitelre átszámított) erők, a szaggatott vonallal rajzoltak az eredeti hajócsavaron keletkező erők. A szárny két oldalán kialakuló nyomások különbségéből származó  $F$  erő és az eredő  $R$  ellenálláserő összege, az ábrán meg nem rajzolt eredőerő. Az eredőerő haladásiirányú összetevője a  $T$  tolóerő, a kerületi irányú összetevője a  $K$  kerületi erő.

Ha a hajócsavar szárnymetszetének ellenállása a súrlódási ellenállási tényező eltérése miatt  $\Delta R$ -el nagyobb, akkor a kerületi erő  $\Delta K$ -val nő, a tolóerő  $\Delta T$ -vel csökken.

Az egész hajócsavaron fellépő erőhatásokat a  $0,75 \cdot D$  átmérőnél levő szárnymetszeten ható koncentrált erőknél tételhetjük fel vizsgálatunk során. Így a keletkező eredő ellenálláserő:

$$R = 0,5 \cdot \rho \cdot v_0^2 \cdot 2 \cdot A_D \cdot (C_F + C_{VP}).$$

Az ellenállás növekménye:

$$\Delta R = 0,5 \cdot \rho \cdot v_0^2 \cdot 2 \cdot A_D \cdot (C_F - C_{Fm}) = \rho \cdot v_0^2 \cdot A_D \cdot \Delta C_F$$

$$\text{ahol } v_0^2 = v_A^2 + (0,75 \cdot D \cdot \pi \cdot n)^2;$$

- $A_D$  = a hajócsavar szárnyainak nyújtott felülete;
- $C_F$  = a hajócsavar súrlódási tényezője;
- $C_{Fm}$  = a kisminta csavar súrlódási tényezője;
- $C_{VP}$  = a hajócsavar és a kisminta azonos értékű alakellenállási tényezője.

A tolóerő csökkenése:

$$\Delta T = \Delta R \cdot \sin \varphi = \rho \cdot v_0^2 \cdot A_D \cdot \Delta C_F \cdot \sin \varphi,$$

ahol

$$\varphi = \arctg \frac{P}{0,75 \cdot D \cdot \pi}$$

$P$  a hajócsavar szárnyának emelkedése.

A nyomaték növekedése:

$$\Delta Q = \Delta K \cdot r = \Delta R \cdot r \cdot \cos \varphi = \rho \cdot v_0^2 \cdot A_D \cdot \Delta C_F \cdot 0,75 \cdot \frac{D}{2} \cdot \cos \varphi$$

Ezzel a hajócsavar nyíltvízi jelleggörbében a  $J$  sebességi tényező függvényében a  $k_T$  tolóerőtényező és a  $k_Q$  nyomatéki tényező, melyeket a kisminta-mérésből határoznak meg, módosítható. A tolóerőtényező eltérése:

$$\begin{aligned} \Delta k_T &= \frac{\Delta T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} = \frac{\rho \cdot \Delta C_F \cdot A_D}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \cdot [v_A^2 + (0,75 \cdot D \cdot \pi \cdot n)^2] \sin \varphi = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{A_D}{A_0} \cdot \Delta C_F \cdot [J^2 + (0,75 \cdot \pi)^2] \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

ahol  $A_0 = 0,25 \cdot D^2 \cdot \pi$  a csavarkör területe;

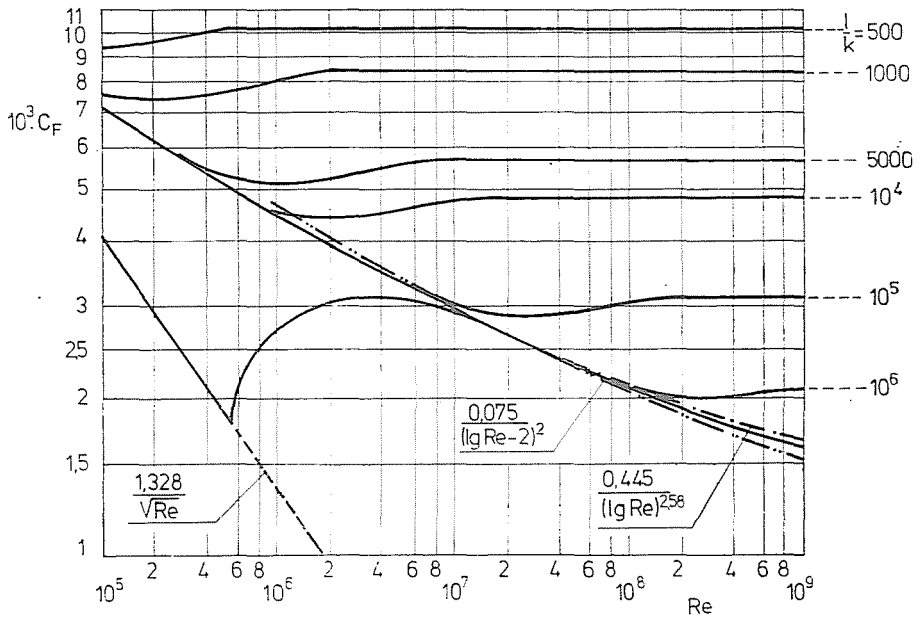
$J = \frac{v_A}{n \cdot D}$  a sebességi tényező.

A nyomatéki tényező eltérése:

$$\begin{aligned} \Delta k_Q &= \frac{\Delta Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} = \frac{\rho \cdot \Delta C_F \cdot A_D}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \cdot [v_A^2 + (0,75 \cdot D \cdot \pi \cdot n)^2] \cdot 0,75 \cdot \frac{D}{2} \cos \varphi = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{A_D}{A_0} \cdot \Delta C_F \cdot [J^2 + (0,75 \cdot \pi)^2] \cdot \cos \varphi \end{aligned}$$

A súrlódási tényezők megállapításához a más jellegű vizsgálatoknál is alkalmazott, bevált módszer szerint a  $0,75 \cdot D$  átmérőnél levő szárnymetszet  $c$  hosszúságát és a metszetnek az előbbieket szerint értelmezett  $v_0$  megfúvási sebességét vehetjük alapul. Ezekkel a Reynolds-féle szám

$$Re = \frac{v_0 \cdot c}{\nu}$$



2. ábra

és a relatív érdesség reciprokának értéke

$$\frac{1}{k} = \frac{c}{k}$$

számítható, mely adatok ismeretében a síklapokra érvényes súrlódási tényezőző görbéjéből (2. ábra) az eredeti kivitelre és a kismintára is kiolvashatjuk a súrlódási tényező értékét.

Ezen adatokkal a modellkísérleti eredmények alapján meghatározott nyíltvízi propeller jelleggörbe átszámolható az eredeti kivitelre: Minden egyes  $J$  sebességi tényező értékhez a korrigált tolóerőtényező

$$k_{T\text{kor}} = k_T - \Delta k_T$$

és a korrigált nyomatéki tényező

$$k_{Q\text{kor}} = k_Q + \Delta k_Q$$

meghatározható. A korrigált jelleggörbét a szokásos módon egybevetve a hajtómotor nyomaték-fordulatszám és a hajó tolóerőigény-haladási sebesség jelleggörbéivel, a várható üzemi fordulatszám értékek bármely sebességhez megállapíthatóak.

A módszer alapján elvégeztük néhány nagy propellerterhelésű hajó várható üzemi fordulatszámának meghatározását. Példaként megemlítjük egy nagy terhelésű folyami tolóhajónál nyert adatokat.

A hajócsavar átmérője 1,60 m, emelkedése 1,60 m, szárnyszáma 4, nyíltvízi haladási sebessége  $2 \text{ ms}^{-1}$ , a nyíltvízi állapotra számított hajtónyomaték 14 942 Nm. A modellszámításokból korrigálás nélkül a várható üzemi fordulatszám  $5,044 \text{ s}^{-1}$ . A modellszámítások által számított (a jelenleg szokásos léptékhatás tényező alkalmazásával) várható érték  $5,15 \text{ s}^{-1}$  (két százalékkal nagyobb értéket javasolnak figyelembe venni). Az ismertetett módszerrel  $5,013 \text{ s}^{-1}$  fordulatszámot kaptunk, ami jól megegyezett a hajó próbaútja során mért  $301 \text{ min}^{-1} = 5,016 \text{ s}^{-1}$  értékkel.

Dr. Benedek Zoltán egy. docens