

## PM. Puomin vetolujuus ja hinausvoimat

Puomi, joka on päistään ankkuroitu tai jota hinataan molemmista päistään aluksella asettuu tyypillisesti U:n muotoon. Puomin päiden välimatkan suhde puomin pituuteen on niin sanottu aukkosuhde, joka alusten vetäessä nuottana on käytännössä välillä 0,2-0,5. Käytettäessä puomia joko ankkuroituna tai kahden aluksen välissä estämään tai ohjaamaan öljyn etenemistä puomi on lähes suora, jolloin aukkosuhde lähenee yhtä. Puomiin kohdistuva vetovoima riippuu puomin syvyyksestä, aukkosuhteesta ja hinausnopeudesta sekä virtauksesta.

Seuraavan sivun kuvissa lähteestä 1 (2004/2005 WORLD CATALOG OF OIL SPILL RESPONSE PRODUCTS, EIGHTH EDITION. SL Ross Environmental Research Ltd. Ottawa 2004) on esitetty avomeripuomin, jonka syväys on 32 tuumaa (810 mm), vetovoimia eri hinaus- tai kokonaisvirtausnopeuksilla (0,5-2,5 solmua) ja aukkosuhteilla 0,5 ja 0,3. Puomien pituudet kuvissa ovat 500 jalkaa (152 m), 1000 jalkaa (305 m), 1500 jalkaa (475 m) ja 2000 jalkaa (610 m). Taulukon mittayksikkö naula (pounds, lbs) on painomittana noin 0,454 kg ja voimana noin 4,45 N (kgm/s<sup>2</sup>). Lähteen mukaan puomia aluksilla hinattaessa tarvitaan vetotehoa yksi hevosvoima jokaista 20 naulaa (90 Newtonia) kohti. Tällöin suunniteltaessa nuottausta, voidaan arvioida tarvittava hinaus-teho valittua puomin pituutta ja hinausnopeutta varten. Toisaalta, jos alusten vetoteho on rajoittava tekijä, voidaan valita aukkosuhde ja maksiminopeus hinaukselle, joka on mahdollinen. Jos käytettävissä oleva hinaus-teho ei riitä, nopeutta ja aukkosuhdetta on pienennettävä tai puomin pituutta vähennettävä.

Esimerkiksi taulukon mukaan, jos ko. avomeripuomin pituus on 2000 jalkaa (610 m), aukko noin 180 metriä (aukkosuhde 0,3) ja hinausnopeus 1,5 solmua tai aukko noin 300 metriä (aukkosuhde 0,5) ja hinausnopeus 1 solmu, tarvitaan hinausvoimaksi 20 000 naulaa (89 000 N eli noin 9 tonnia vetovoimaa) joka vastaa suunnilleen 1000 hevosvoiman hinaus-tehoa. **Voima aiheuttaa puomiin vetojännityksen, joka on taulukon alahuomautuksen mukaan noin puolet vetovoimasta eli noin 4,5 tonnia.**

Vertailun vuoksi puomityypin RO-BOOM 1500 (syväys 30 tuumaa eli 760 mm) kokonaislujuudeksi (TOTAL STRENGTH) on ilmoitettu 45 000 lb (200 000 N eli noin 20 tonnin veto), mikä antaa esimerkitapauksessa yli nelinkertaisen varmuuden rikkoutumista vastaan. Mainitun puomin syväys on 5 cm pienempi kuin esimerkipuomin. Suunnilleen vastaava puomityyppi on Larmor HDB 1500 (syväys 34 tuumaa eli 860 mm), jonka syväys on 5 cm enemmän kuin esimerkipuomin. Puomien lujuuden kannalta kriittiselle alueelle tullaan, kun aukkosuhde on 0,5 ja hinausnopeus 2,5 solmua. Tällöin vetovoimaa tarvittaisiin jo 100 000 naulaa (445 000 N eli noin 45 tonnia), mikä on mahdollista isoille hinaajille ja suurimmille torjunta-aluksille (saattohinaajilla on paaluvetoa 75 ja Louhella 68 tonnia)

Lähteessä 2 (Estimation of Towing Forces on Oil Spill Containment Booms. SL Ross Environmental Research. Ottawa. Jyly 1999) Ottawa on esitetty seuraava kaava puomin vetojännitykselle hinattaessa:

$$T = K' A V^2$$

where: T = tensile force, lbf

K' = constant, lbf/(ft<sup>2</sup> ⊕ knots<sup>2</sup>)

A = projected area of the submerged portion of the boom, ft<sup>2</sup>

V = tow speed, knots

The value of the constant, K',

averaged: 1.7 for calm waterbooms under calm conditions; 4.3 for protected water booms in regular waves; and 4.7 for open water booms under the harbor chop wave condition.” Myöhemmin sama lähde toteaa vielä seuraavaa: “The value of the constant, K', varied from a minimum of 1.7, observed under calm conditions, to a maximum of 7.0 observed under the harbor chop condition.”

Kaavan mukaan avomeripuomille, jonka syväys on 32 tuumaa ( 2,67 jalkaa = 810 mm) ja pituus 2000 jalkaa (600 metriä) aukkosuhteella 0,3,  $A = 0,3 \times 2000 \times 2,67 = 1600$  neliöjalkaa ja aukkosuhteella 0,5,  $A = 2667$  neliöjalkaa saadaan K:n arvolla 4,7 seuraavat vetojännitykset eri hinausnopeuksilla:

| puomin projisoitu pinta-ala ft <sup>2</sup> | hinausopeus 1 kn, vetojännitys lb | hinausopeus 1,5 kn, vetojännitys lb | hinausopeus 2 kn, vetojännitys lb |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 2667 (aukkos. 0,5)                          | 12534 lb= 5,7 tn                  | 28203 lb= 12,8 tn                   | 50136 lb= 22,7 tn                 |
| 1600 (aukkos. 0,3)                          | 7520 lb= 3,4 tn                   | 16920 lb= 7,7 tn                    | 30080 lb= 13,7 tn                 |
| 1068 (aukkos. 0,2)                          | 5019 lb= 2,3 tn                   | 11294 lb= 5,1 tn                    | 20076 lb= 9,1 tn                  |

Viimemainitun kaavan antamat arvot ovat 10 - 20 % suurempia kuin edellä mainituista kuvaajista saatavat arvot.

Kaava vetojännityksen (T) kilopondeina antava metrinen muoto on seuraava:

$T(kp) = 4,7 \times 10,765$  (muuntokerroin- neliömetrit neliöjalkoina) x puomin pituus(m) x puomin syväys(m) x aukkosuhde x 0,454 (muuntokerroin – naulat kilogrammoina) x hinausnopeus (solmua)<sup>2</sup> =  $4,7 \times 4,9 \times$  puomin pituus x syväys x aukkosuhde = 23 x puomin pituus x syväys x aukkosuhde x hinausnopeus<sup>2</sup>.

**T(kp) = 23 x puomin vedenalaisen osan kohtisuora pinta-ala (m<sup>2</sup>) vetosuuntaa vastaan x nopeuden (kn) neliö**

Esimerkiksi 800 metriä RO-BOOM 1500 (syväys 760 mm) hinataan nopeudella 2 solmua aukkosuhteella 0,3 eli 240 metrin aukolla. Puomin vetojännitys on noin 17 tonnia ja hinausvoima noin 34 tonnia.

Seuraavaan taulukkoon on laskettu viimeainitulla metrisellä kaavalla 1000 metrin Lamor HD 1500 puomille vastaavia hinausn tai virtauksen aiheuttamia vetojännityksiä kuin edellisessä taulukossa:

| puomin projisoitu pinta-ala m <sup>2</sup> | h.nopeus 0,5 kn v.jännitys tn | h.nopeus 1 kn v.jännitys tn | h.nopeus 1,5 kn v.jännitys tn | h.nopeus 2 kn v.jännitys tn |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 688 (as 0,8)                               | 4,0 tn                        | 15,8 tn                     | 35,6 tn                       | 63,3 tn                     |
| 430 (as. 0,5)                              | 2,5 tn                        | 9,9 tn                      | 22,3 tn                       | 39,6 tn                     |
| 258 (as. 0,3)                              | 1,5 tn                        | 5,9 tn                      | 13,4 tn                       | 23,7 tn                     |
| 172 (as. 0,2)                              | 1,0 tn                        | 4,0 tn                      | 8,9 tn                        | 15,8 tn                     |

Huomattakoon, että taulukon mukaisten vetojännityksien saamiseksi tarvittavan vetovoiman pitäisi tekstin mukaan olla noin kaksinkertainen!

Pienillä, puolen solmun virtausnopeuksilla, on mahdollista käyttää suurempia puomin pituuksia ja laajempia aukon avauksia. Esimerkiksi 4 kilometrin lähes suoraan puomiin aiheutuisi tällöin suunnilleen sama 17 tonnin veto ja se vaatisi 34 tonnin vedon molempiin päihin.

Lähteessä 2 on selostettu OHMSETT`n altaalla tehtyjä puomien hinauskokeita. Lähteen mukaan ne antoivat huomattavasti suurempia vetojännitysten arvoja kuin aiemmin on esitetty..Mainittakoon, että lähteen 2 mukaan ITOPF:n aikaisemmassa oppaassa (Field manual) vuodelta 1989 edllä mainittua kaava oli yksinkertaistettu virtauksen aiheuttaman vetovoiman osalta muotoon

$$F_c = 26 A_c V_c^2$$

ja tuulen vaikutuksen suhteen muotoon

$$F_w = 26 A_w ( V_w / 40 )^2$$

missä:  $F_w$  = force on a boom due to wind, kg

$A_w$  = freeboard area, m<sup>2</sup>

$V_w$  = wind velocity, knots

$F_c$  = force on a boom due to waves and current, kg

$A_c$  = submerged area, m<sup>2</sup>

$V_c$  = current/tow velocity, knots

ITOPF:n nykyinen informaatio asiasta , <http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/response-techniques/containment-recovery/> antaa lähes neljä kertaa suurempia vetovoiman arvoja eli kaava virtauksen osalta olisi  $F_c = 1000 A_c V_c^2$  . Myös sisältö on tekstin pääsivuillakin puomien käyttökelpoisuuden suhteen hyvin varovainen:

“Standard booms are typically not capable of retaining oil against a relative water current of more than 0.7 knots at right angles to the boom, irrespective of boom size or construction.” ja myöhemmin vielä ““Practical limitations of boom strength and ease of handling mean that, in general, a single boom arrangement will be limited to a maximum of 300-400m and commonly much shorter than this.”

Kotkassa syyskuussa 2014 vedettiin kahdella hinaajalla (750 hv ja 500 hv eli paaluvedot luokkaa 7-5 tonnia) kilometrin pituista Lamor HD 1500 puomia. Eri vedoissa aukkosuhde vaihteli välillä 0,2-0,8. Hinausnopeudet olivat alle 1,5 solmun luokkaa. Mitatut maksimivetovoimat hinaajien ja puomin välissä olivat hiukan yli 3 tonnia. Suorassa siirtohinauksessa kolmen solmun nopeudella yhdellä hinaajalla vetovoima oli 2 tonnin luokkaa. Hinaajat pystyivät tekemään vetoja suhteellisen nopeasti ja helposti. Suurin kokeiden aikana paikalla mitattu virtaus oli 18 cm/s. Mitatut vetovoimien arvot olivat erittäin huomattavasti pienempiä kuin edellä esitettyjen kaavojen perusteella voisi olettaa. Puomiin olisi aiheutunut siis enimmillään alle 2 tonnin vetojännitys eli alle 10 % puomin kokonaislujuudesta!

Kaikkiaan vastaavia kokeita tulisi suorittaa ainakin 1,5 – 2 kilometrin puomituksilla. Lisäksi olisi edelleen syytä selvittää tarkemmin puomeihin kohdistuvia voimia. Sellainen voisi tapahtua esimerkiksi pitkäaikaisesti paikalleen ankkuroidulla puomilla, johon kohdistuvien voimien lisäksi mitattaisiin myös vaikuttavia virtaus- ja tuuliolosuhteita.

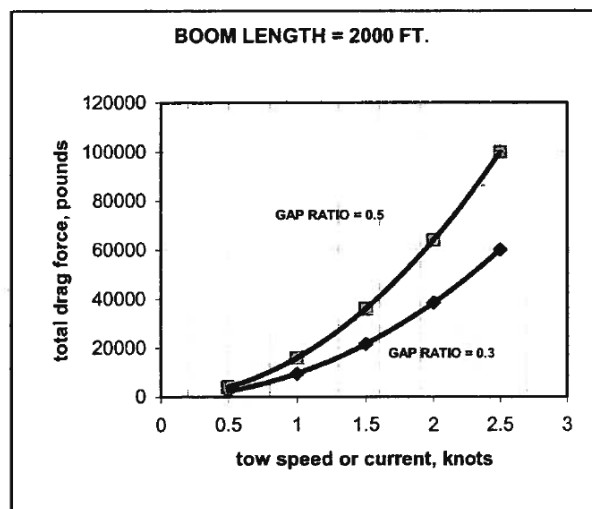
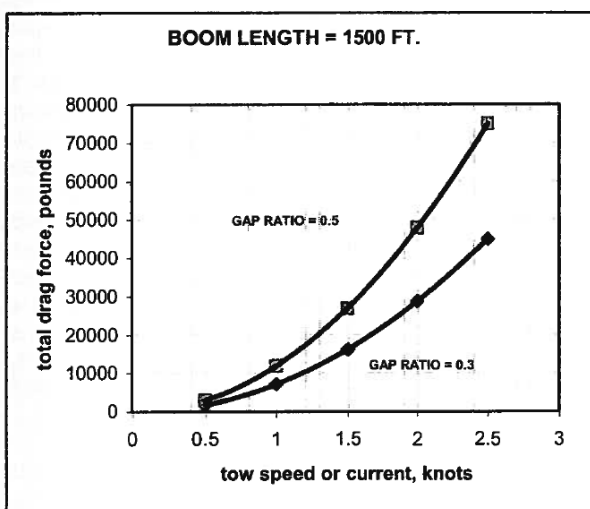
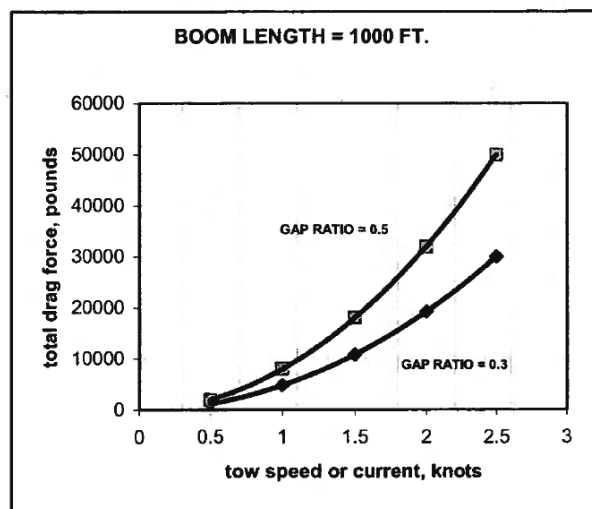
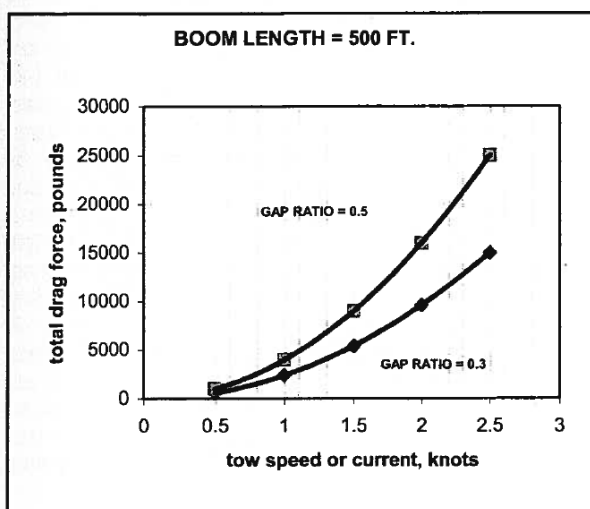
Lähteet:

1. World Catalog of Oil Spill Response Products. Eighth edition 2004/2005. Marine SLRoss Environmental Research Ltd/ [www.slross.com/](http://www.slross.com/) Editor Steve Potter. Assistant Editor Jake Morrison. Ottawa 2004/ <http://www.oilspillequipment.com/>
2. Estimation of Towing Forces on Oil Spill Containment Booms. SLRoss Environmental Research. Ottawa, Ontario, Canada. Stephen Potter and James McCourt. Jyly 1999/  
<http://www.bsee.gov/Research-and-Training/Technology-Assessment-and-Research/tarprojects/200-299/299AA/>
3. <http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP3UseofBoomsinOilPollutionResponse.pdf>

KJ

15.11.2012/9.6.2014/24.9.2014

Figure 1-11: Drag force on an open water boom



Calculations based on:  
 Boom draft = 32 inches  
 Tow speeds or currents up to 2.5 knots  
 Various lengths, gap ratios  
 Note: curves indicate total drag force, which is double the tension in the boom in most cases.