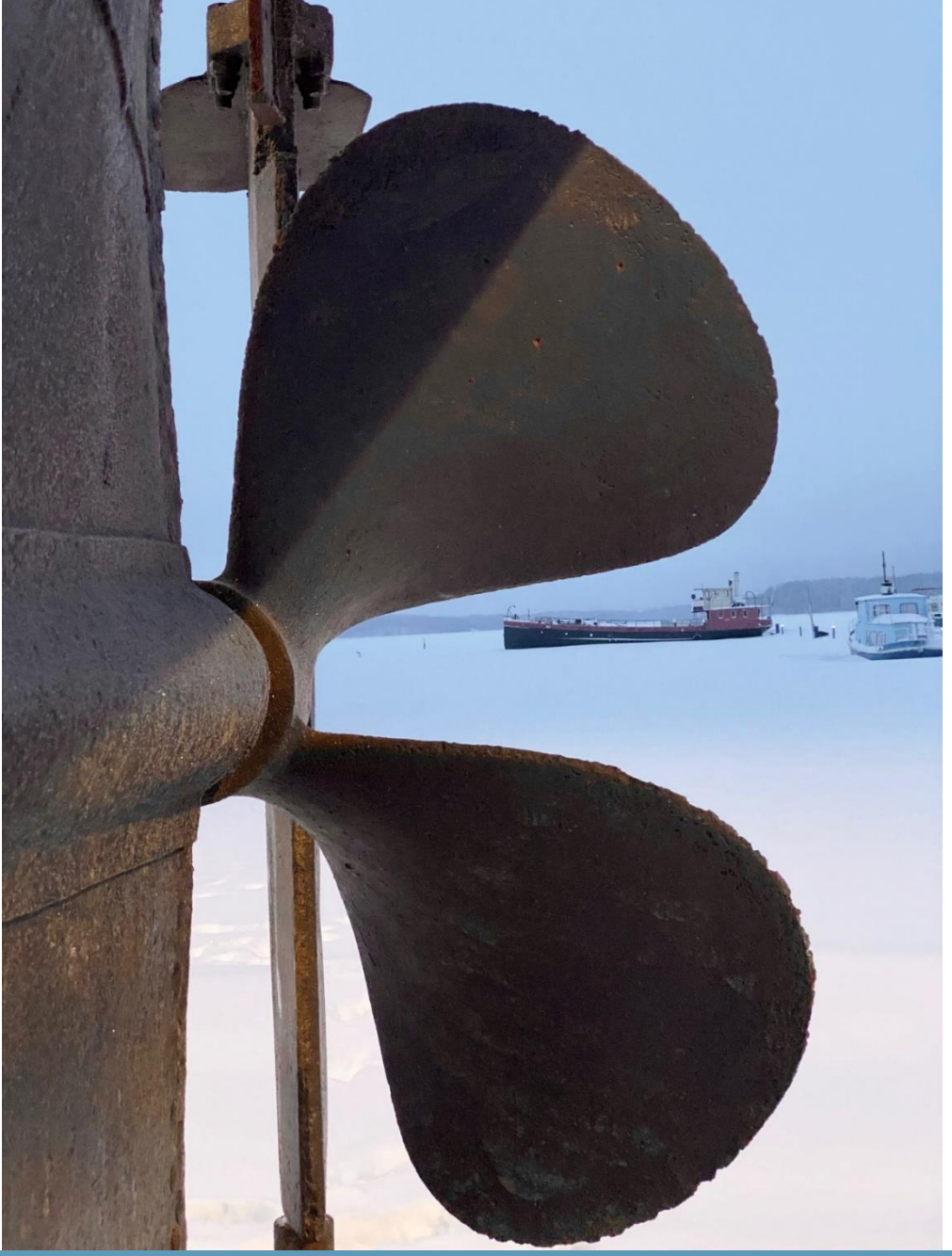
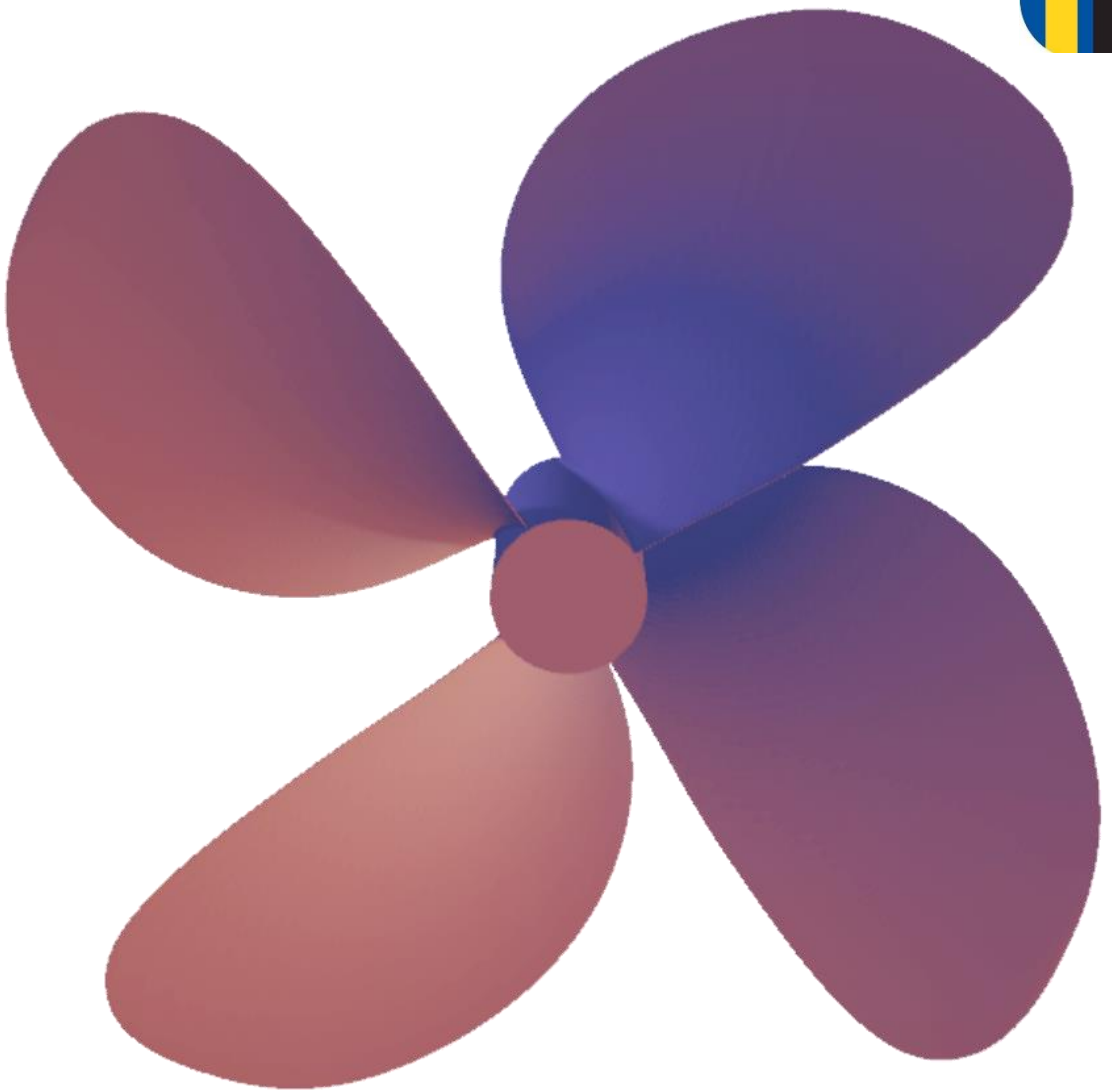


# Laivan potkuri

Ilmo Kuutti
Suomen Höyrypursiseura ry
talviseminaari 12.3.2022

# Sisällys

- Työni potkureiden parissa
- Laivapotkurin historia ja teoria
- Toiminta-olosuhteet laivassa
- Potkurin pääparametrit
- Höyrykoneen teho ja hyötysuhde
- Laivan vastus ja koneteho
- Esimerkkilaskelmia

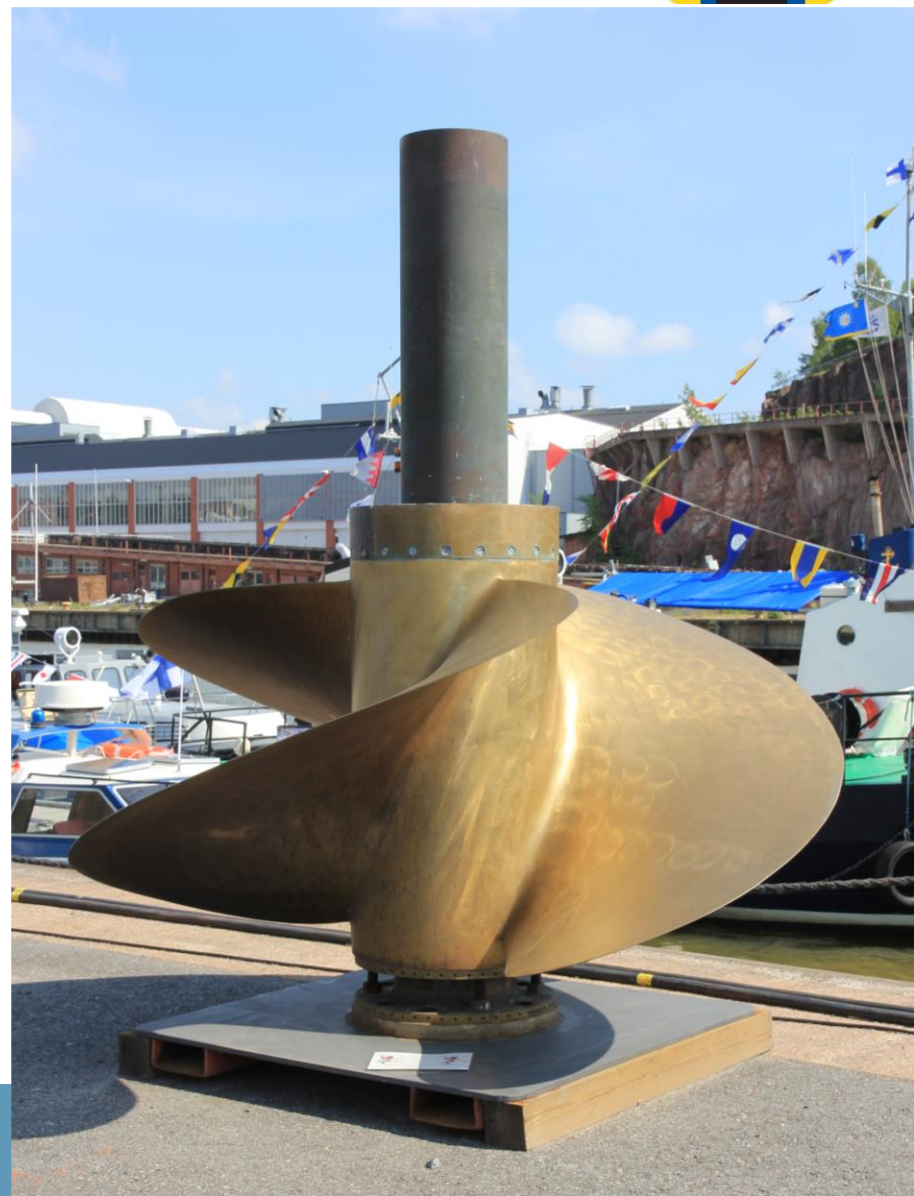


# Oma historiani potkureiden kanssa

- Ensimmäinen veneprojekti veljien kanssa ollessani 12 vuotias
  3 m pitkä vanerivene *Lätykkä* 40 hv perämoottorilla. Nopeus ehkä 40 solmua, p.a. kulutus 1500 l kesässä
- TKK, nykyinen Aalto, laiva DI v 1983. D-työn aiheena hinaajan paaluveto
- Paaluvetokoe 28 hinaajalle kesänä 1981
- Syksystä 1982 kevääseen 1991 Turun telakalla päävastuina laivan rungon muoto, nopeus ja koneteho, potkuri, paino, vakavuus ja turvallisuus, merikelpoisuus ja niihin liittyvä tietotekniikka
- Tänä aikana luovutettiin telakalta kymmeniä laivoja ja suunniteltiin tuhansia projekteja: Silja Serenade, Cinderella, Royal Viking Sun, Seaward, Athena, Mariella, Nesteen 4 tankkeria, ruoppajia, nosturilaivoja, konttilaivoja, kaasutankkereita, ym.
- Olin ostotiimissä hankkimassa noin 50 potkuria

# Suurimmat potkurit telakka-ajalta

- MT Futura 1992, IMO 9020687
  - L=241, B=40, T=14, 95 195 DWT
  - Potkurin halkaisija **D=8.2 m**
- Ruoppaajassa 2 kpl maailman suurin ylhäältä ripustettu kääntyvä suulake, **D=3.5 m**
- Tykkivene Karjala **D=2.4 m?** diffuusorissa, teho **22 000 hv** ja syväys vain 2.8 m



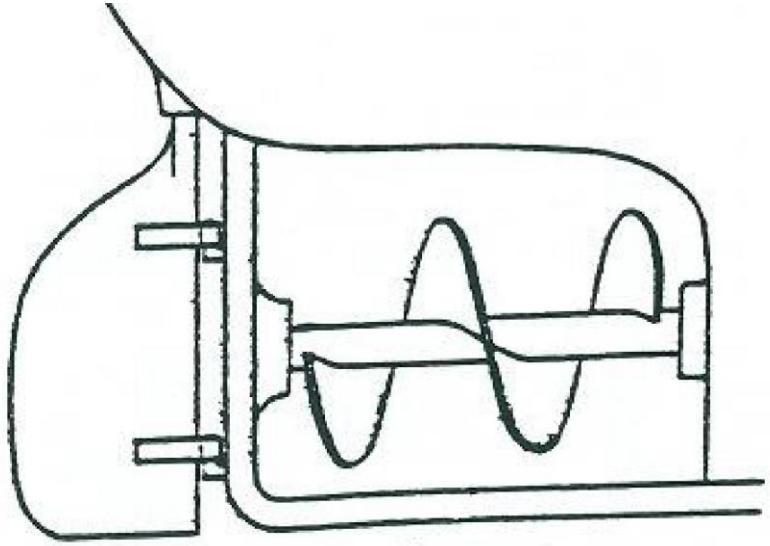
# NAPA - Software, Services and Data Analysis for Ship Design and Operation

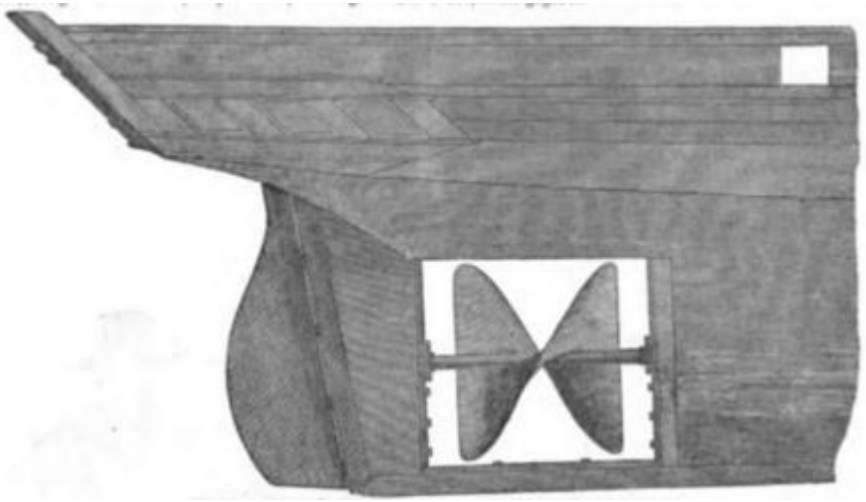
- Mukana NAPA-ohjelmiston kehityksessä vuodesta 1982
- 1.4.1991 alkaen työnantajana **NAPA Oy**
- Tietotekniikkaa laivojen suunnitteluun ja operointiin
- 190 henkeä, puolet Suomessa, 10 toimistoa maailmalla
- Liikevaihto 25 M€
- 95 % maailman laivoista suunnitellaan NAPA-ohjelmistolla
- Tehnyt kaikkea vuosien varrella, mm. TJ vuosina 2017-2020
- Nykyään olen neuvonantajana pienellä työpanoksella ja hallituksessa
- Tämän esityksen esimerkit on laskettu NAPA-ohjelmistolla

**www.napa.fi**

# Laivapotkurin kehitys alkoi ruuvipotkurista

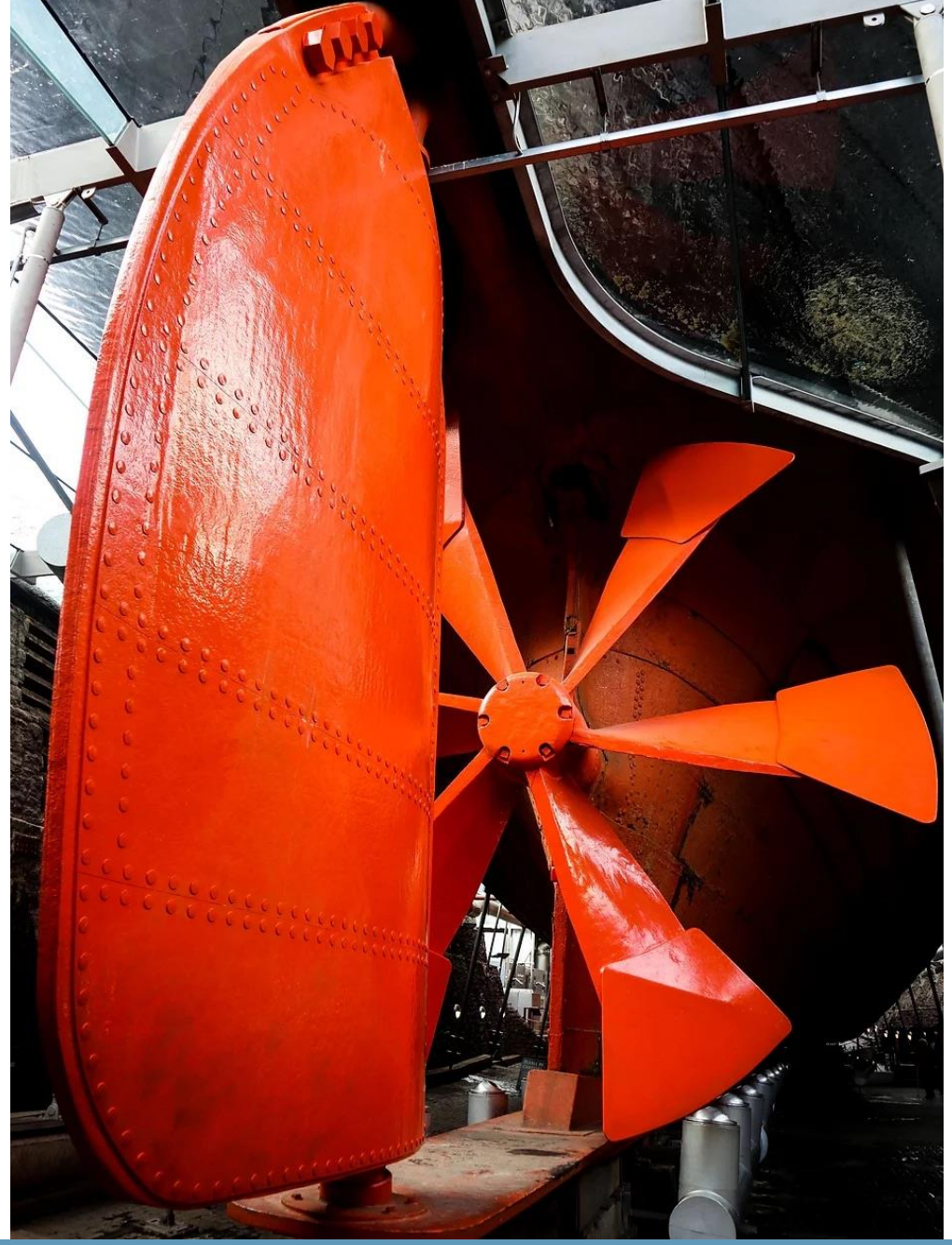
- 1835 Britti Francis Pettit Smith ja syntyjään ruotsalainen John Ericsson keksivät samaan aikaan ruuvipotkurin
- Smithin v. 1836 vuoden patentissa puisessa ruuvissa kaksi kierrosta
- Myöhemmin puolet ruuvista putosi pois, jolloin nopeus nousi kaksikertaiseksi!
- Alempi kuva esittää SS Archimedes laivan potkuria v. 1938





# SS Great Britain

- Suunnittelijana kuuluisa **Isambard Brunel**
- Ensimmäinen teräsrunkoinen Atlannin yli kulkeva höyrylaiva
- Rakennusvuosi 1839-1845
- 500 hp
- 10-11 solmun nopeus
- Alkuperäinen potkuri melko erikoinen!
- Potkurin muoto alkoi vakiintua noin 1880, eli samoihin aikoina kuin vanhimmat seuramme laivat rakennettiin



# Purjeen voimaa hyödynnetty vuosituhansia

- Purjeen kantovoima syntyy kohtaamiskulmasta ja kaarevasta muodosta
- Kuvassa yksi maailman tehokkaimmista purjeveneistä tällä hetkellä
- Nostovoima syntyy 2-3 evällä
- Kuljettava voima parilla ”tavanomaisella purjeella”

AL
OH-993

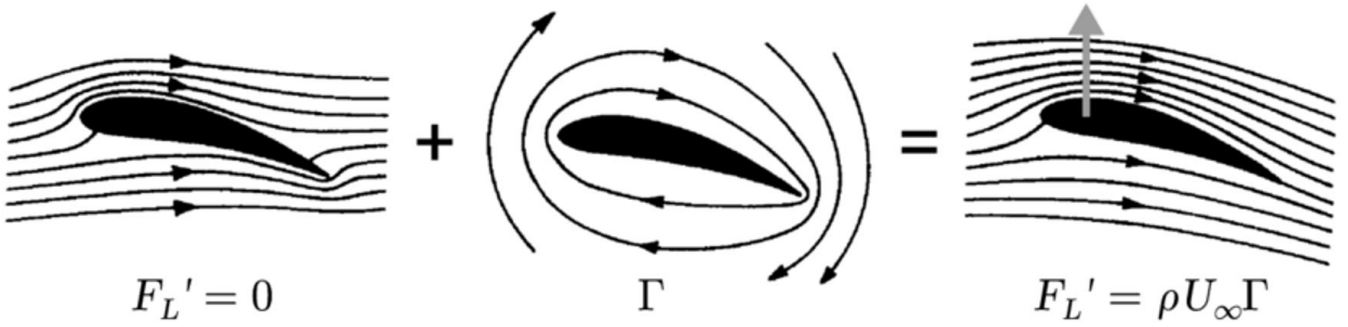
787

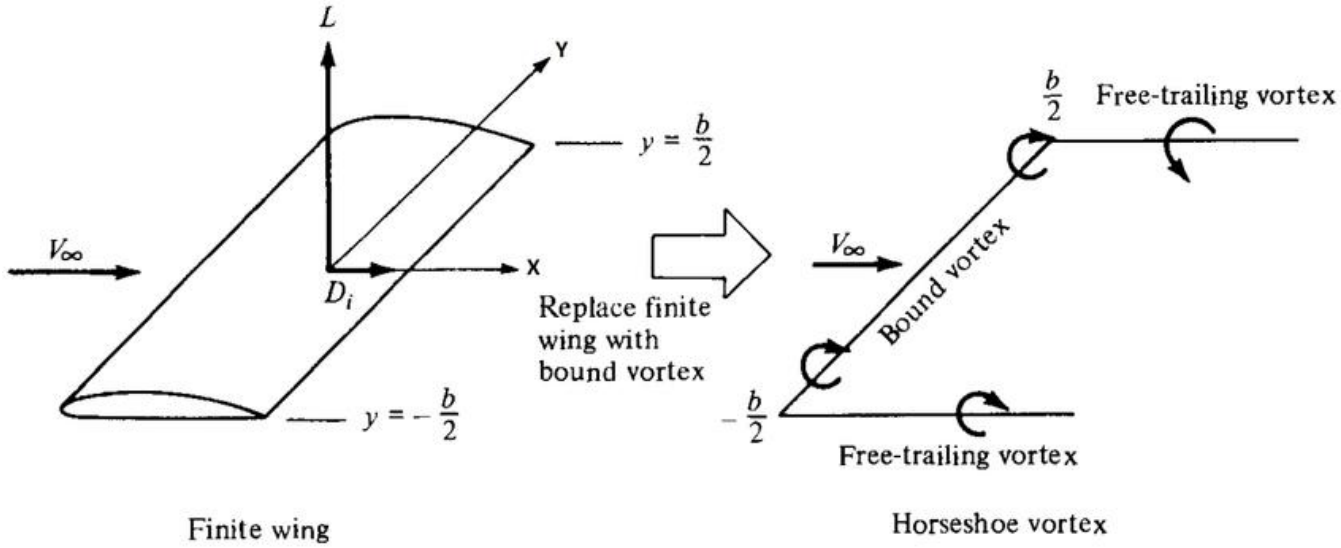
# Suurimat potkurit tuulivoimaloissa

- Tuuliturbiinin potkurit ovat tällä hetkellä yksi tehokkaimmista potkureista
- Kehitystä ohjaa suuret taloudelliset intressit

# Kantovoima syntyy pyörteestä

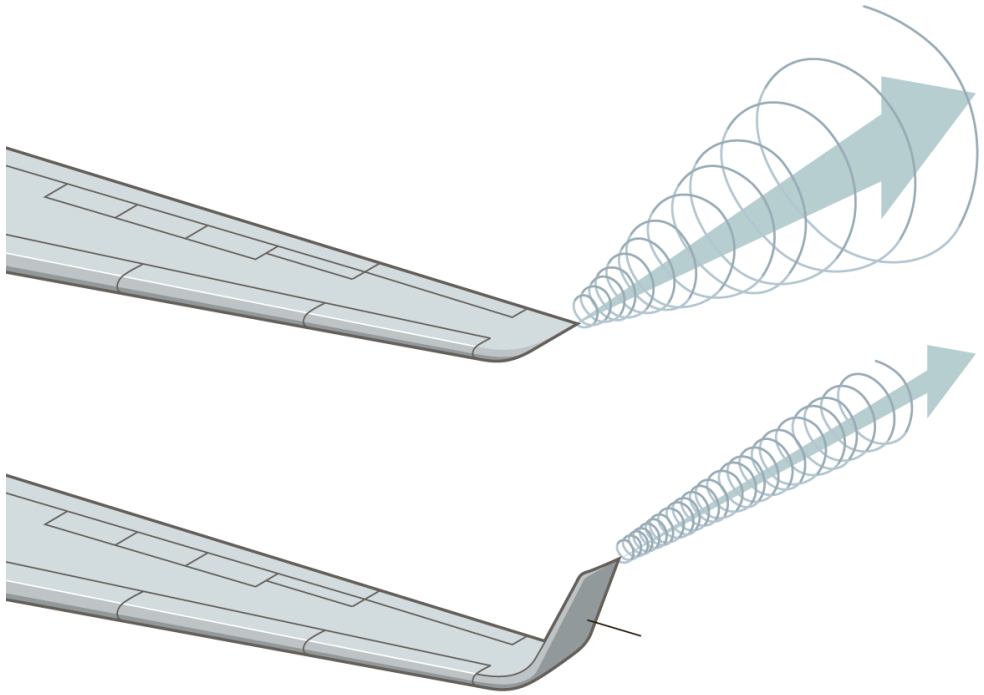
- Virtaus kiihtyy profiilin imupuolella ja hidastuu painepuolella
- Paine-ero saa aikaan tarvittavan nostovoiman (Lift)
- Samalla vastus lisääntyy, indusoitu vastus (Drag)
- Syntyvä pyörre on jatkuva, ellei pääty johonkin pintaan, vrt. pyörremyrsky



# Pyörremyrskyssä pyörre näkyvissä samoin sopivalla säällä lentokoneen siivissä

# Kärkipyörrettä voi pienentää esimerkiksi
- elliptisellä muodolla (Spitfire hävittäjä)
- wingletillä (modernit lentokoneet)
- päätylevyllä (kilpa-autot)



# Laivassa potkurin olosuhteet ovat huonot

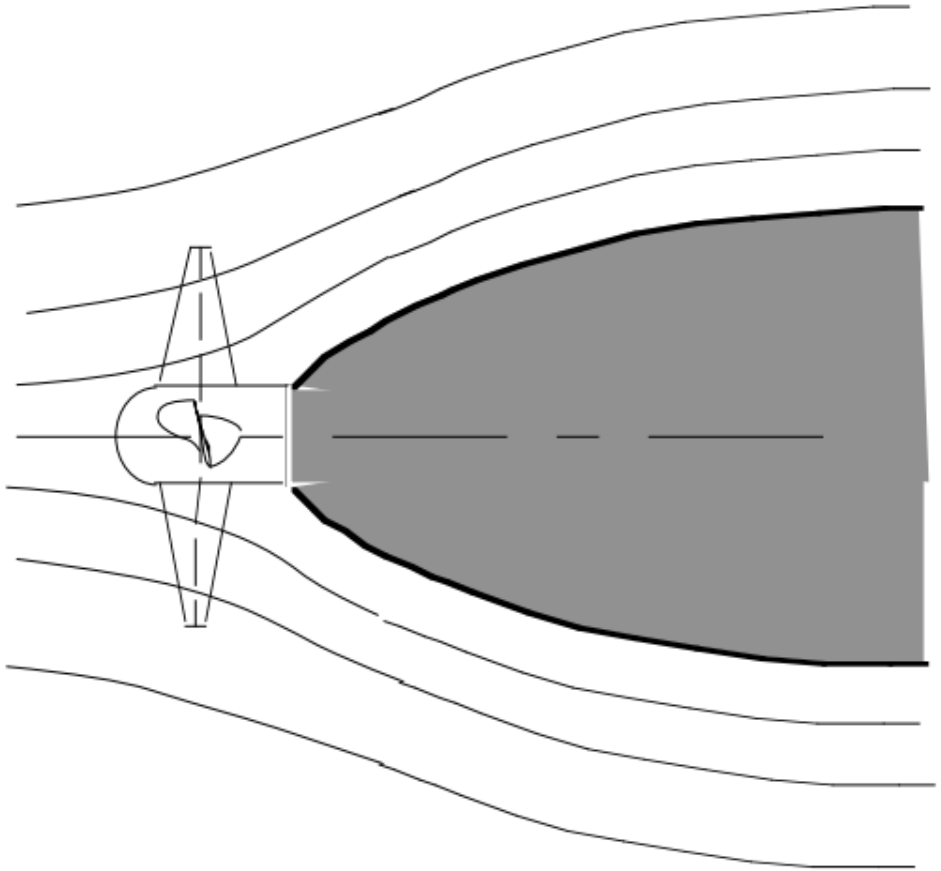
- Laivan runko hidastaa (vetää mukanaan) vettä, jolloin vanavesi on hidastunut, pyörteinen ja epätasainen
- Potkuri toimii lähellä veden pintaa, ilmavuodon riski
- Potkurin takana peräsin häiritsee myös potkurin virtauksia
- Potkurin etenemisnopeus ***Va*** on hitaampi kuin laivan nopeus ***Vs***
- Tätä kuvataan vanavesikertoimella ***w*** (en. Taylor wake fraction)

$$Va = Vs*(1-w)$$

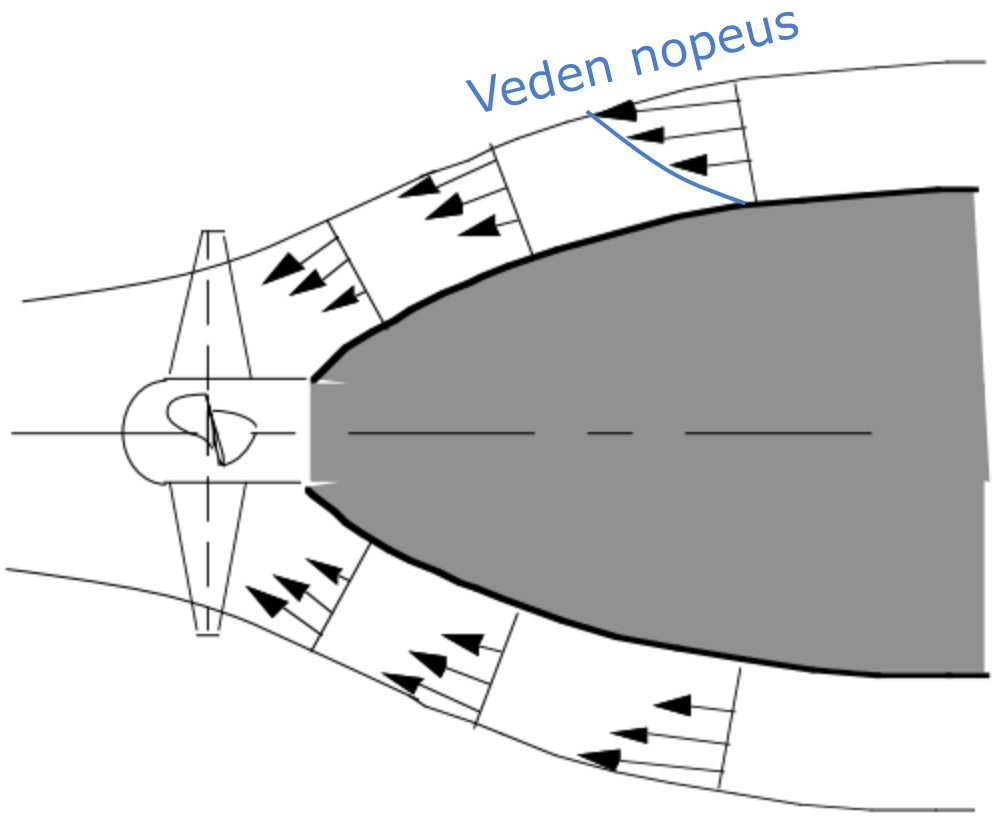
- Osa potkurin työnnöstä hukkuu rungon imuun, eli laivan vastus Rt on pienempi kuin potkurin työntö T. Vähennyksen nimi on työnnön vähennyskerroin t (eng. thrust deduction fraction)

$$Rt = T*(1-t)$$

# Potentiaalivanavesi ja kitkavanavesi

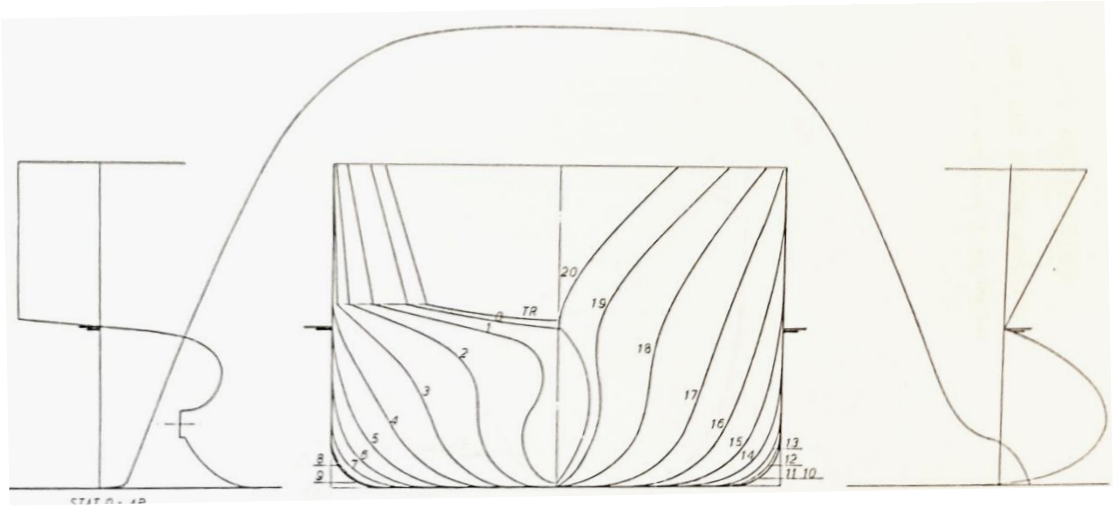


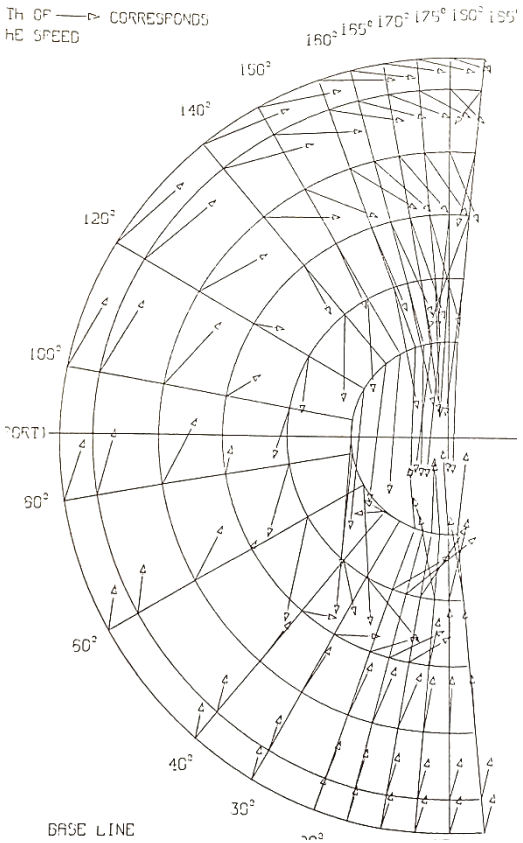
Laivan muoto hidastaa virtausta



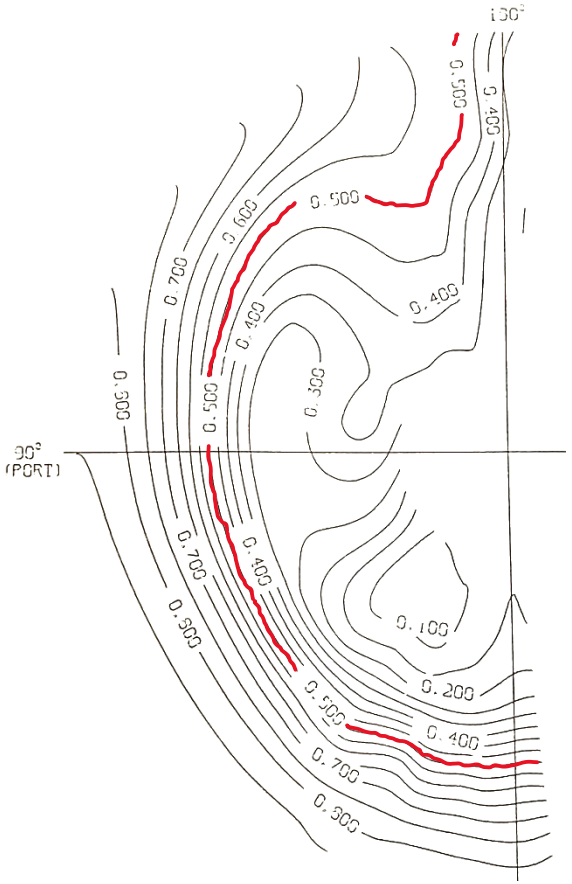

Rungon kitka hidastaa nopeutta lähellä pintaa

# Esimerkki mitatusta vanavesikentästä



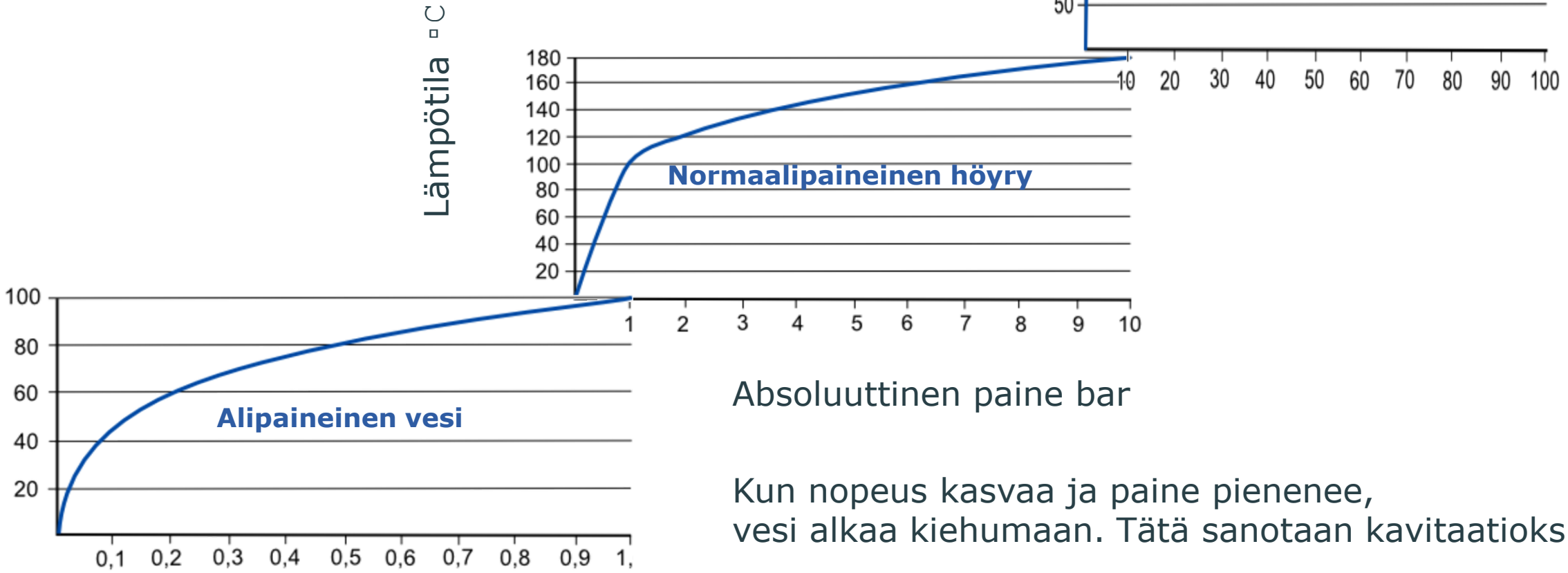



Poikittaisnopeuksia




Pitkittäinen hidastuma
**50%**

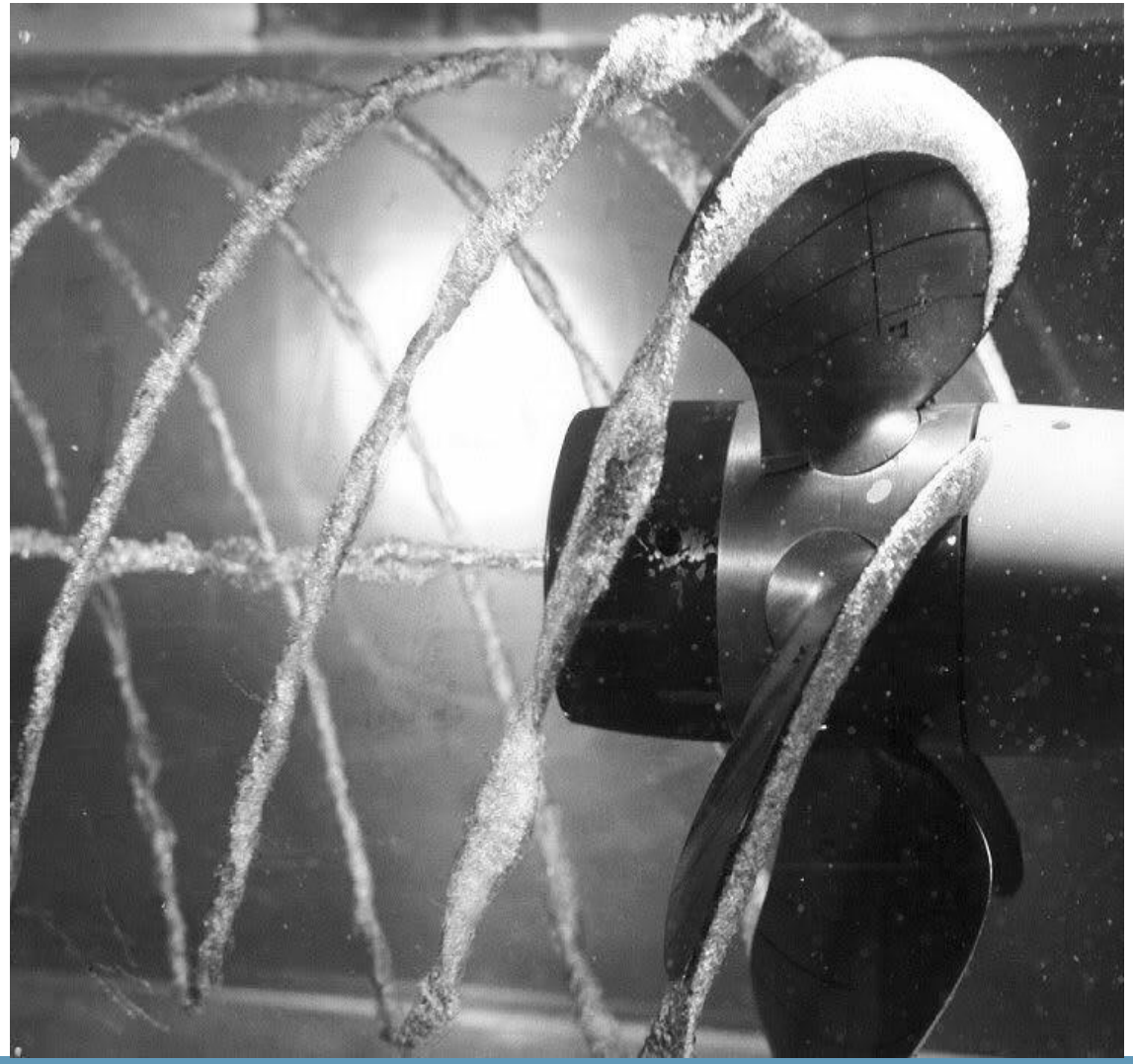
# Veden kiehumislämpötila paineen funktiona ja kavitaatio

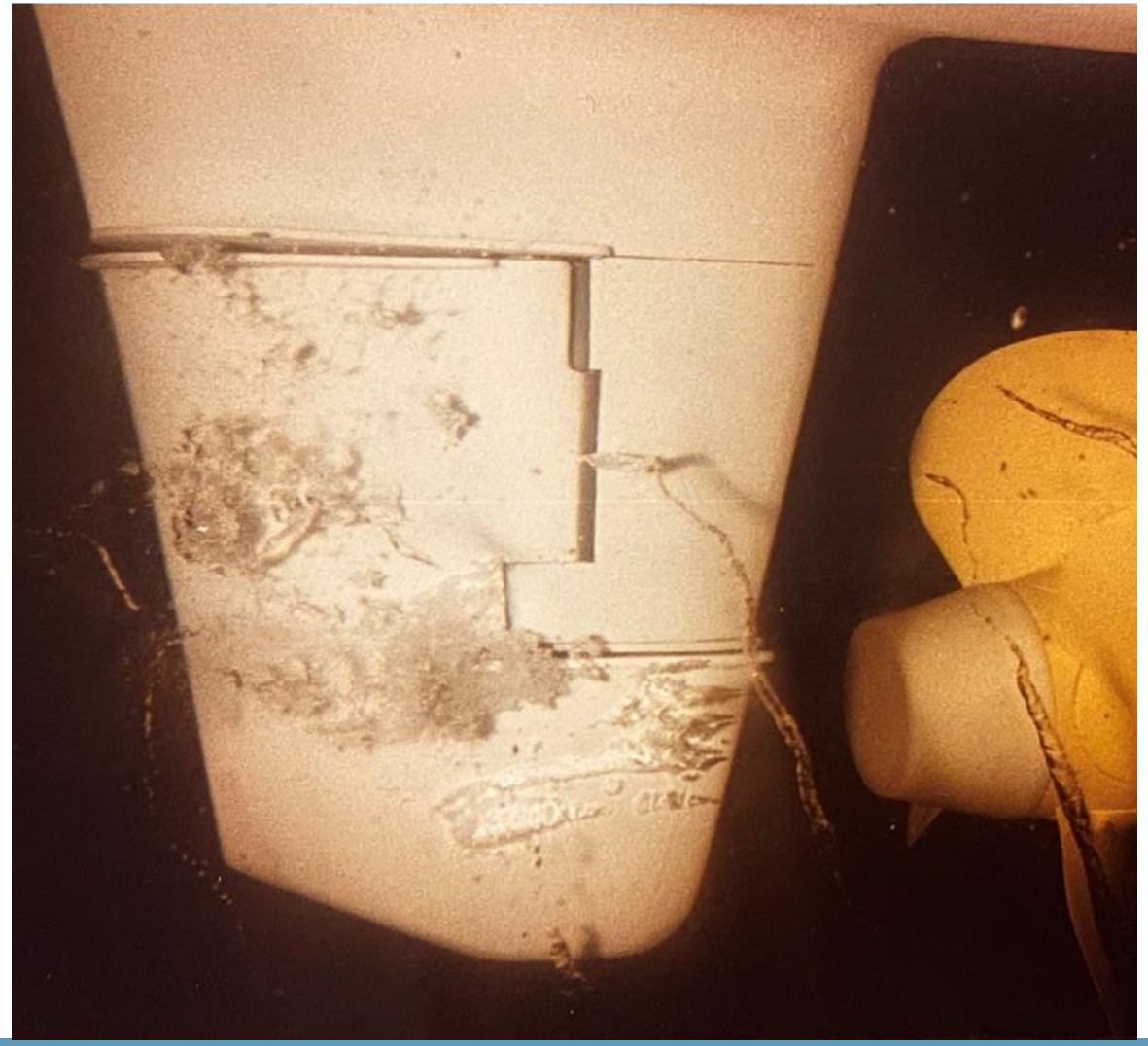



Absoluuttinen paine bar

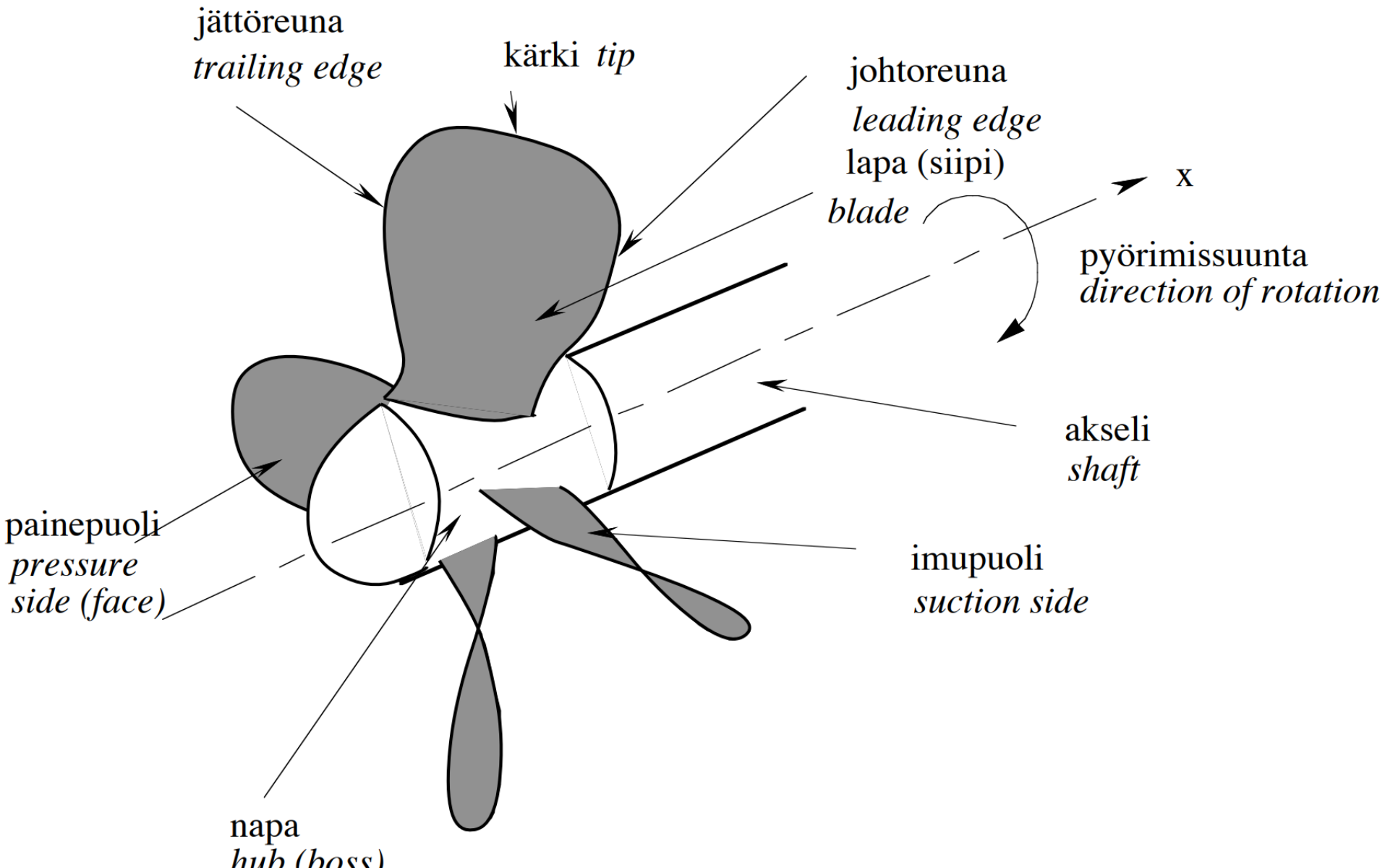
Kun nopeus kasvaa ja paine pienenee,
vesi alkaa kiehumaan. Tätä sanotaan kavitaatioksi

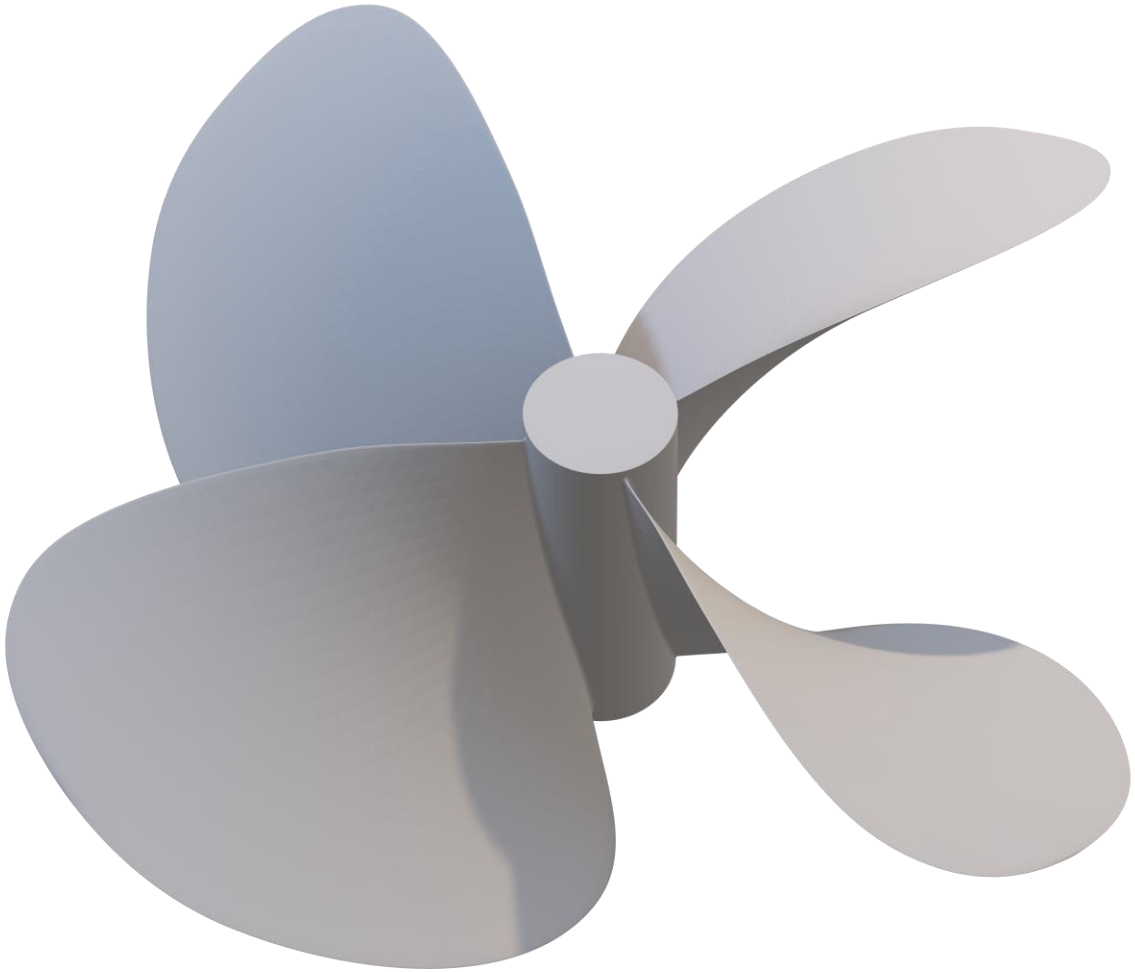
# Kavitaatio potkurissa ja GTS Finnjetin perässä





# Potkurin nimistöä



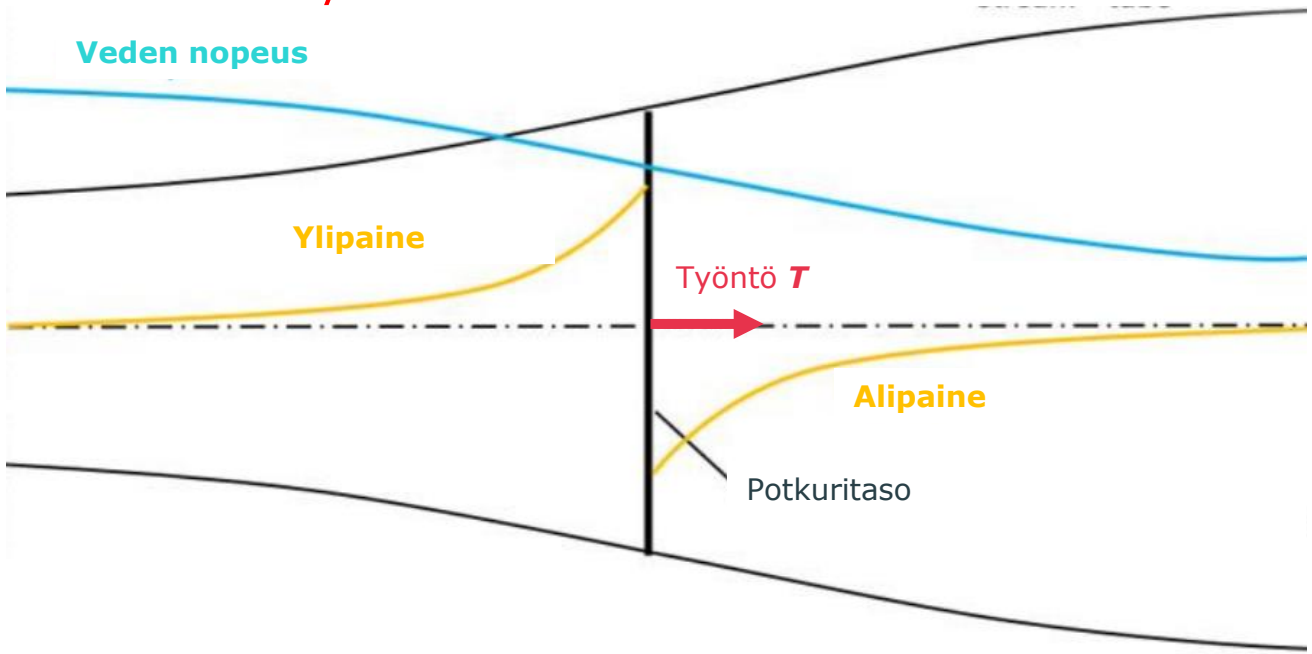


# Ideaalipotkurin halkaisijan kasvattaminen parantaa hyötysuhdetta

- Potkuri kiihdyttää vettä taaksepäin ja näin syntyvä painevoima kuljettaa laivaa eteenpäin, eli kumoaa laivan kulkuvastuksen
- Työnnön $T$ tarvitsema teho $P$ pienenee, mikäli potkurin halkaisija $D$ suurenee, eli ympyrän ala $A = \pi D^2/4$ kasvaa

$$P = \sqrt{\frac{T^3}{2\rho A}}$$

$$\text{Hyötysuhde} = \frac{2}{1 + \left(\frac{T}{A_{\text{disk}} u_0^2 \frac{\rho}{2}} + 1\right)^{\frac{1}{2}}}$$



# Potkurin nousun määritelmä

D = potkurin halkaisija

Lavan pituus R = D/2

P = nousu 1 kierroksen aikana

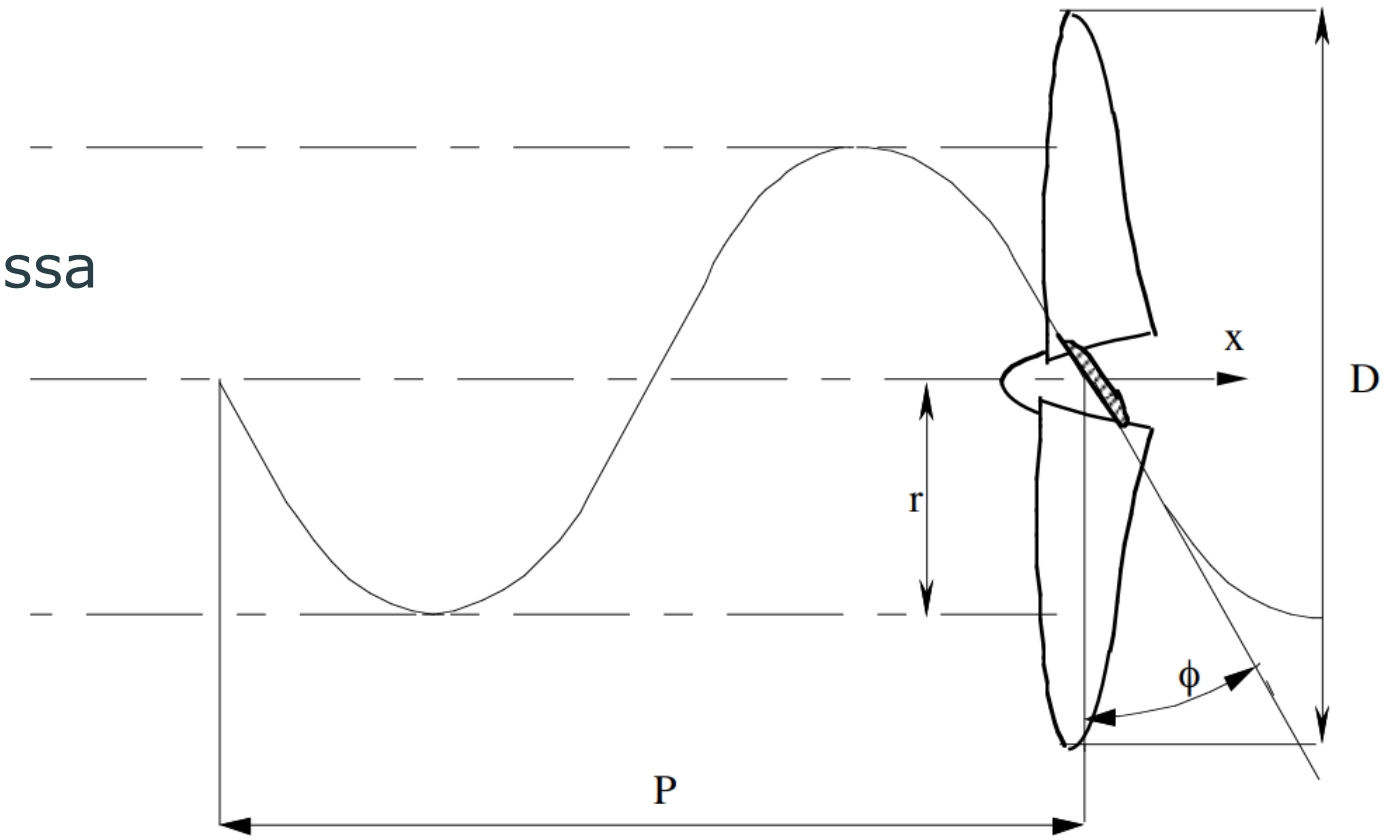
P/D= noususuhde

r = säde nousun määrityskohdassa

Φ =nousukulma

Nousu yleensä säteellä 0,7R

$$\tan \phi = \frac{P/D}{\pi\, r/R} = \frac{P}{2\,\pi\, r}$$



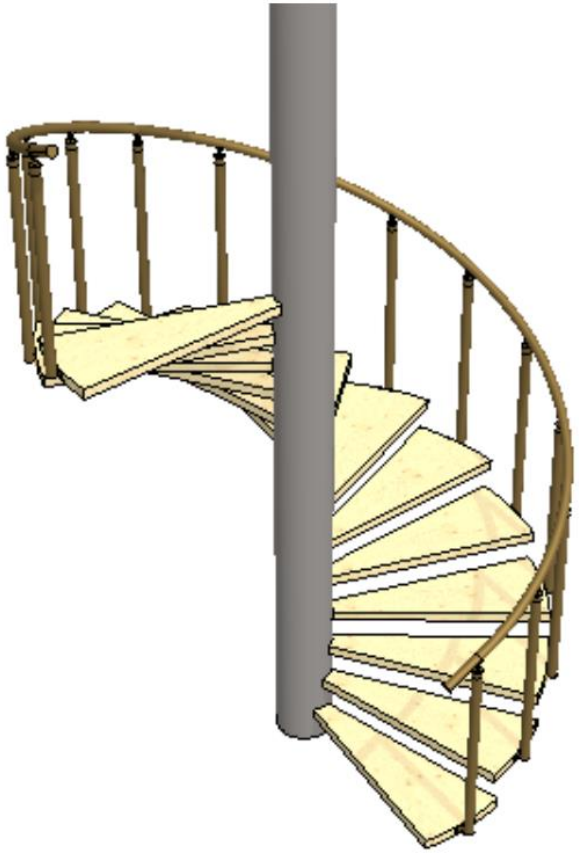
# Potkurin nousu vastaava kuin kierreportaassa

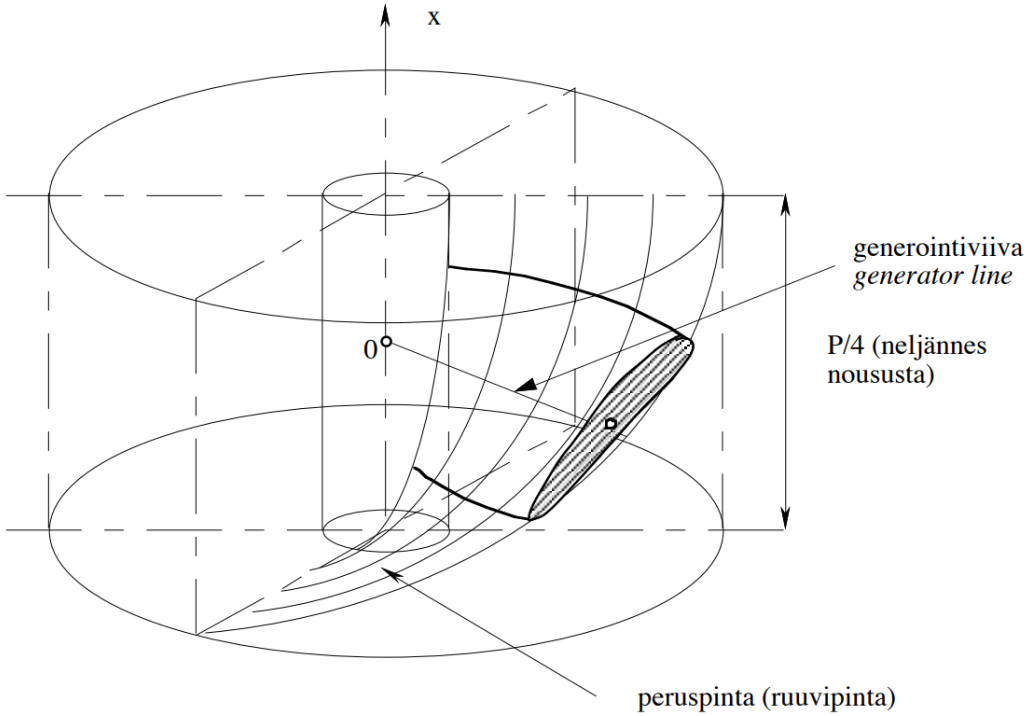
Kierreportaan nousu on joka askelmalla sama

Nousukulma on jyrkempi lähellä keskustaa

Sama potkurissa, nousu lähes vakio säteen suunnassa

Nousukulma jyrkkä lähellä akselia

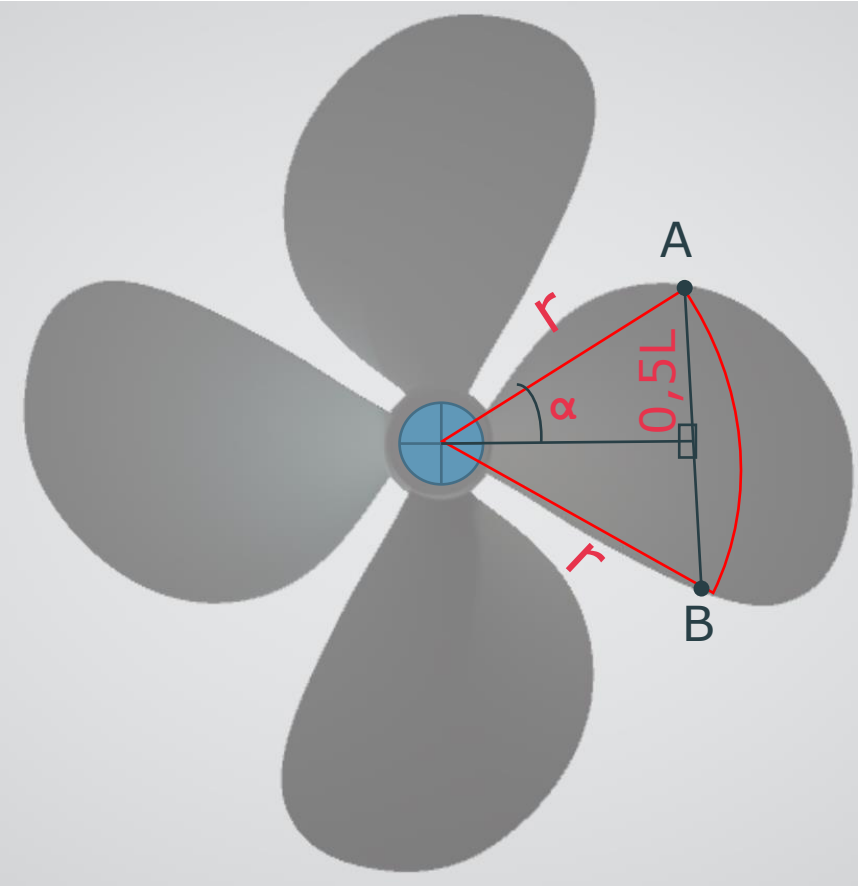


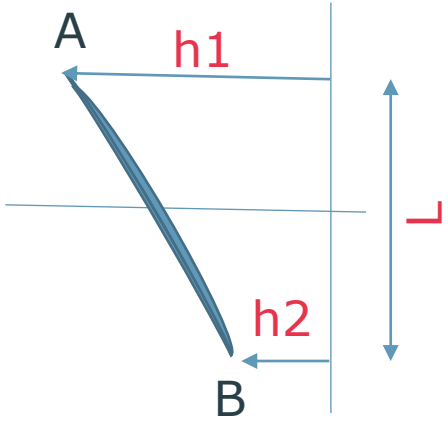


# Potkurin nousun määritys

1. Nousu määritetään yleensä säteellä r = 0,7R
2. Merkitse pisteet A ja B lavan reunassa keskiöstä etäisyydellä **r**
3. Mittaa A ja B pisteiden etäisyydet h1 ja h2 referenssitasosta (lattia)
4. Mittaa pisteiden A ja B etäisyys L tason (lattian) suuntaisesti, eli kohtisuoraan potkuriakselia vastaan
5. Laske kulma asteissa
   $\alpha = \text{asin}(0{,}5L/r)$
6. Nousu

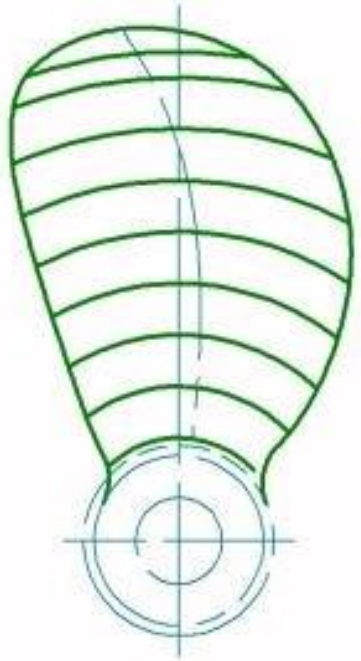
   $P = (h1-h2)*180/\alpha$
7. Nousukulma = $\text{atan}(P/2\pi r)$



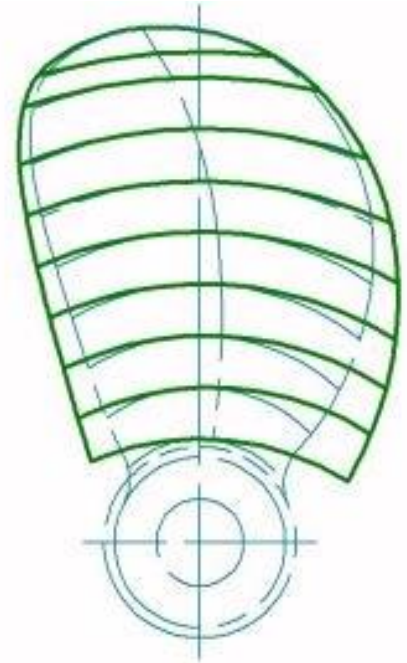



# Potkurin lapojen pinta-alasuhde

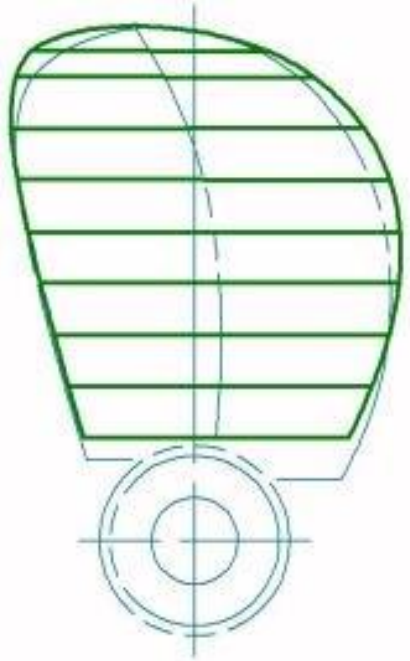
- Lapojen pinta-ala saadaan kun kaarileikkaus on levitetty (profiilin kaarevuus oikaistu ja käännetty potkurin tasoon) ja oikaistu (ympyrän kaari suoraksi) ***Ae***
- Potkuriympyrän pinta-ala $\boldsymbol{Ao = \pi D^2/4}$
- Pinta-alasuhde (lapojen pinta-alan suhde ympyrän alaan) = ***Ae/Ao***



Vakiosäteen leikkaukset



Kaarevuus oikaistu tasoon



Ympyrän kaari oikaistu suoraksi

# Pinta-alasuhteen vaikutus suhteellisen pieni

Esimerkki Anterosta optimipotkurilla

- Potkurin halkaisija 1.6 m (liian iso?)
- Kierrosluku 160 rpm
- Vääntömomentti 3.9 kNm, teho 110 ihv
- Minimi pinta-alasuhde 0.3 kavitaation estämiseksi

| Ae/ao | $\eta_o$ | Vs knots |
|---|---|---|
| 0,30 | 0,681 | 9,333 |
| 0,50 | 0,671 | 9,296 |
| 0,70 | 0,660 | 9,264 |
| 0,90 | 0,650 | 9,233 |
| 1,10 | 0,652 | 9,208 |

Potkurin hyötysuhde $\eta_o$

Va = (1-w)*Vs = etenemisnopeus

w = vanavesikerroin

Vs = laivan nopeus

Ae/Ao = potkurin pinta-alasuhde

P = teho potkurissa

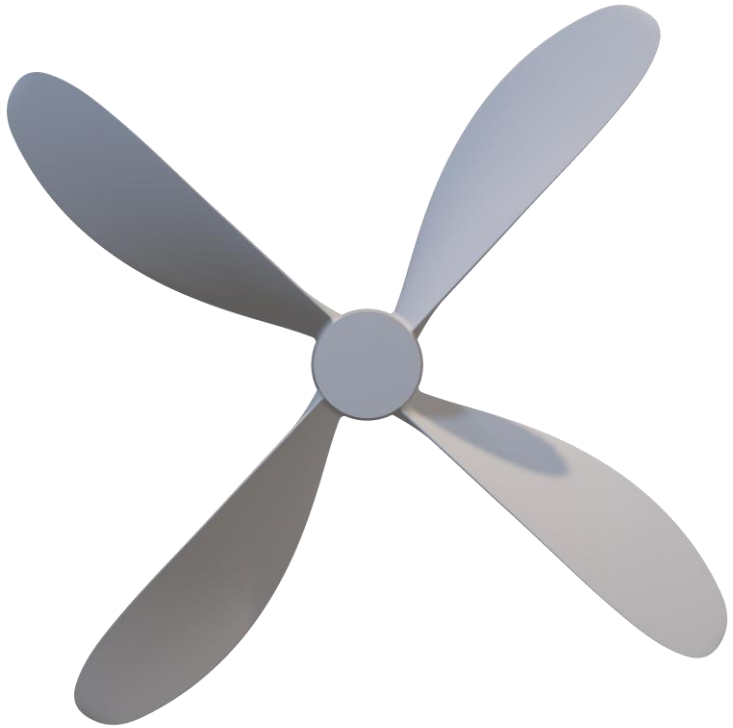
T = potkurin työntö

$$\eta_0 = \frac{TV_a}{P}$$

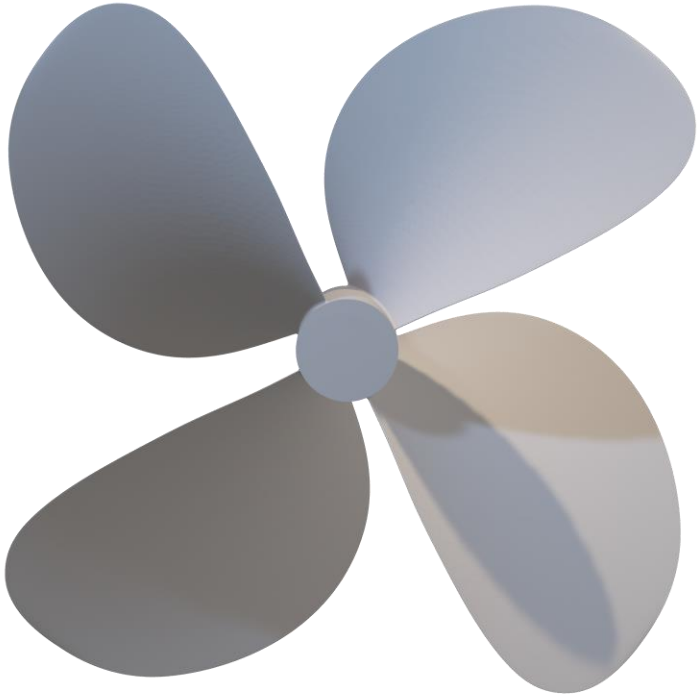
Pyritään mahdollisimman pieneen lapojen pinta-alaan, koska pienentää kitkaa, mutta kavitaation riski rajoittaa minimipinta-alan!

# Potkurin pinta-alaa rajoittaa kavitaatio ja lavan lujuus, tavoite mahdollisimman pieni pinta-ala

Esimerkkeinä 0.3 ja 0.88 pinta-alasuhteen potkurit



Riittävä pinta-alasuhde Anteroon



~Anteron työn alla oleva potkuri

# Potkurin leikkauksen voimat ja geometria

V = Laivan nopeus

w = vanavesikerroin

$V_A$ = (1-w)*V = etenemisnopeus

r = säde (etäisyys keskiöstä)

$2\pi r$ =ympyrän kehä

$\omega$ = kulmanopeus = N/60/$2\pi$

$\omega r$= leikkauksen kehänopeus

$V_r$ = kokonaisnopeus =$\sqrt{V_A^2 + \omega r^2}$

P = nousu

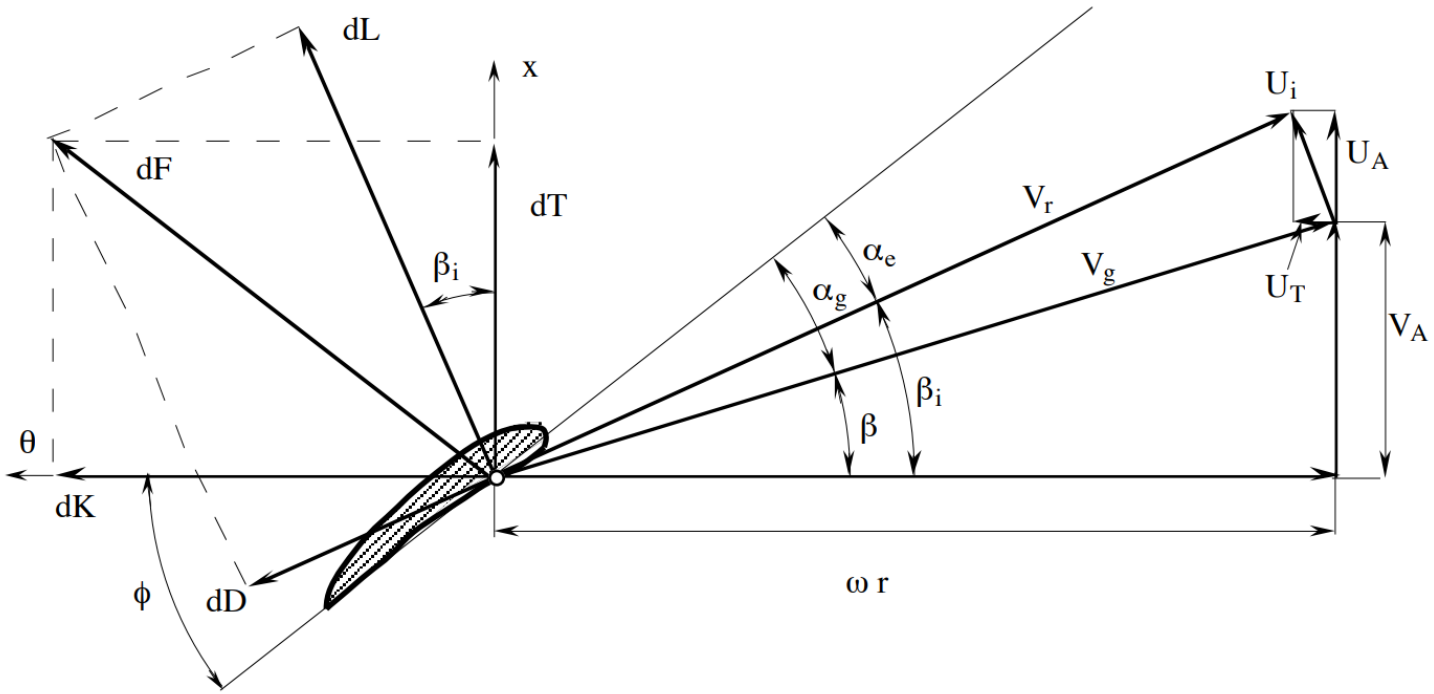
$\Phi$ = nousukulma = atan(P/$2\pi$r)

dT = työntö

dL = profiilin noste ~$Vr^2$

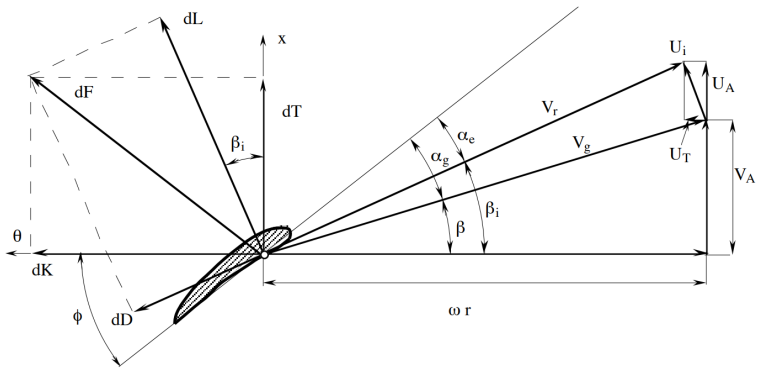
dD = profiilin vastus ~$Vr^2$

dK = vääntömomentti ~$rVr^2$



# Anteron potkuri ”viipaleina”

Aluksen nopeus 9.7 solmua eli 5 m/s, vanavesikerroin 0.2, Va = (1-0.2)*5 = 4 m/s

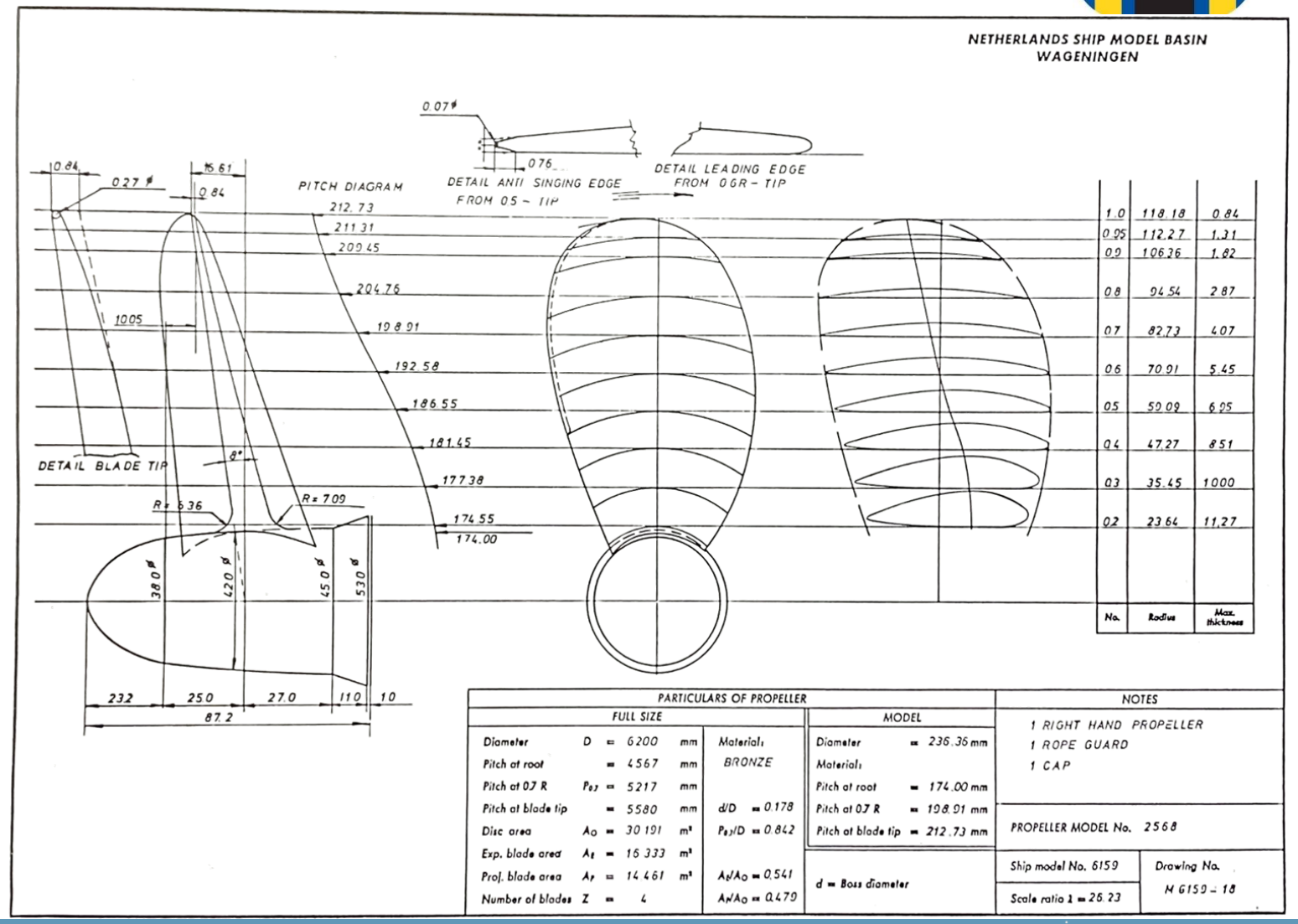



| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **D** | **1,32** | | **m** | **Potkurin halkaisija** | | | | | | | |
| **N** | **160,00** | | **rpm** | **Kierrosluku** | | | | | | | |
| **P** | **2,27** | | **m** | **Nousu** | | | | | | | |
| **Va** | **4,00** | | **m/s** | **Potkurin etenemisnopeus** | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | **Nousu-** | **Työntö** | | **Momentti** | |
| **r/R** | **r** | **Kehä** | **ωr** | **Vr** | **dL** | | **kulma** | **dT** | | **dK** | |
| | **m** | **m** | **m/s** | **m/s** | **kN** | | **ast** | **kN** | | **kNm** | |
| 0,1 | 0,07 | 0,41 | 0,55 | 4,04 | 0,81 | 35 % | 80 | 0,15 | 7 % | 0,05 | 7 % |
| 0,2 | 0,13 | 0,83 | 1,11 | 4,15 | 0,85 | 37 % | 70 | 0,29 | 14 % | 0,11 | 14 % |
| 0,3 | 0,20 | 1,24 | 1,66 | 4,33 | 0,93 | 40 % | 61 | 0,45 | 22 % | 0,16 | 22 % |
| 0,4 | 0,26 | 1,66 | 2,21 | 4,57 | 1,03 | 45 % | 54 | 0,61 | 30 % | 0,22 | 30 % |
| 0,5 | 0,33 | 2,07 | 2,76 | 4,86 | 1,17 | 51 % | 48 | 0,79 | 39 % | 0,29 | 39 % |
| 0,6 | 0,40 | 2,49 | 3,32 | 5,20 | 1,34 | 58 % | 42 | 0,99 | 49 % | 0,36 | 49 % |
| 0,7 | 0,46 | 2,90 | 3,87 | 5,57 | 1,53 | 67 % | 38 | 1,21 | 60 % | 0,44 | 60 % |
| 0,8 | 0,53 | 3,32 | 4,42 | 5,96 | 1,76 | 76 % | 34 | 1,45 | 72 % | 0,52 | 72 % |
| 0,9 | 0,59 | 3,73 | 4,98 | 6,38 | 2,02 | 88 % | 31 | 1,72 | 85 % | 0,62 | 85 % |
| 1,0 | 0,66 | 4,15 | 5,53 | 6,82 | 2,31 | 100 % | 29 | 2,02 | 100 % | 0,73 | 100 % |
| **1,1** | **0,73** | **4,56** | **6,08** | **7,28** | **2,62** | **114 %** | **26** | **2,35** | **116 %** | **0,85** | **116 %** |
| | | | | | | | | **12,03** | | **4,34** | |

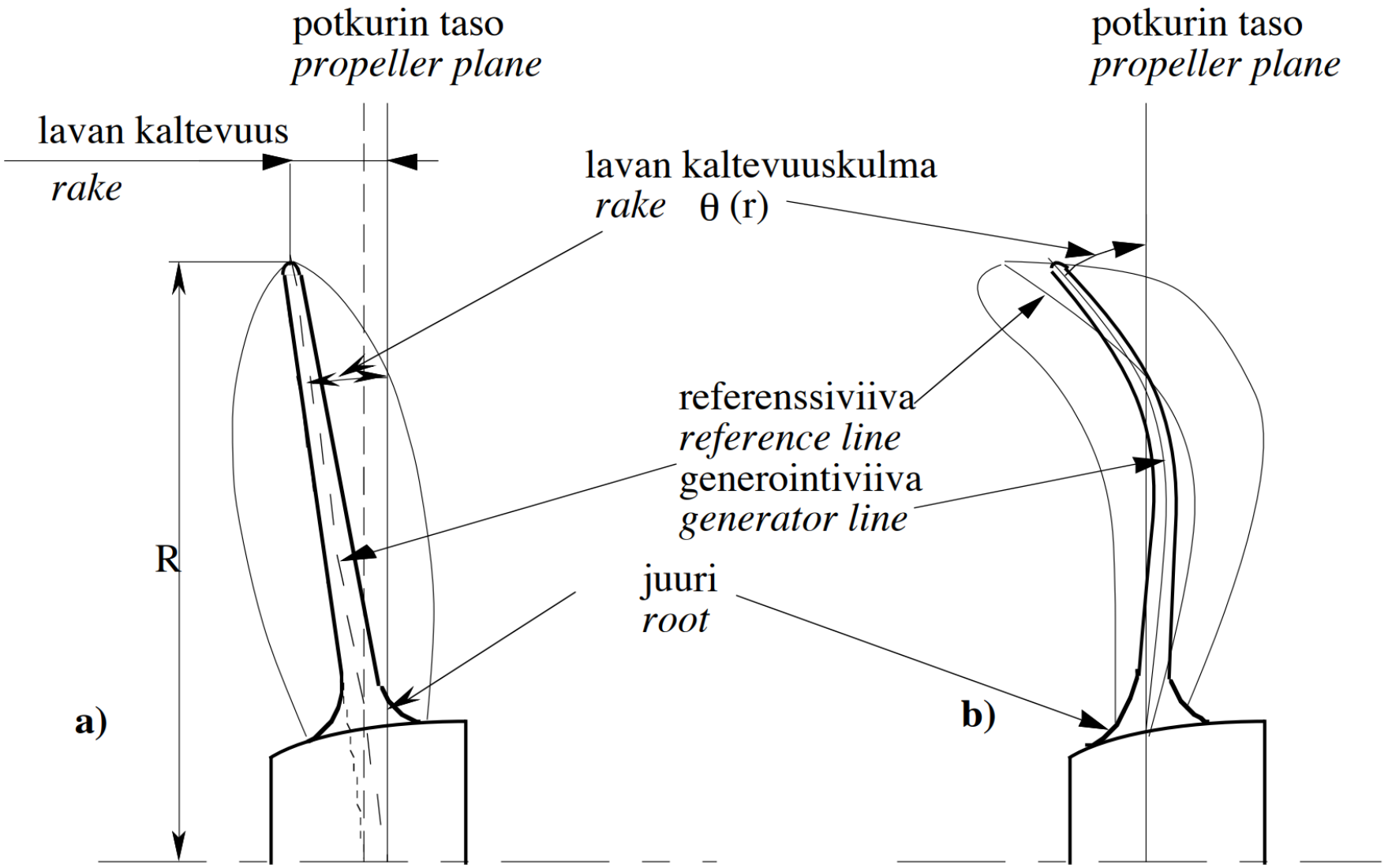
Viimeinen rivi vastaa 10% lisäystä halkaisijaan lapojen pituutta kasvattamalla samalla nousulla

# Esimerkki potkuripiirroksesta

Potkurin jättöreunaan usein hiotaan terävät kulmat, millä estetään von Karmanin pyörteitten aiheuttama potkurin laulaminen

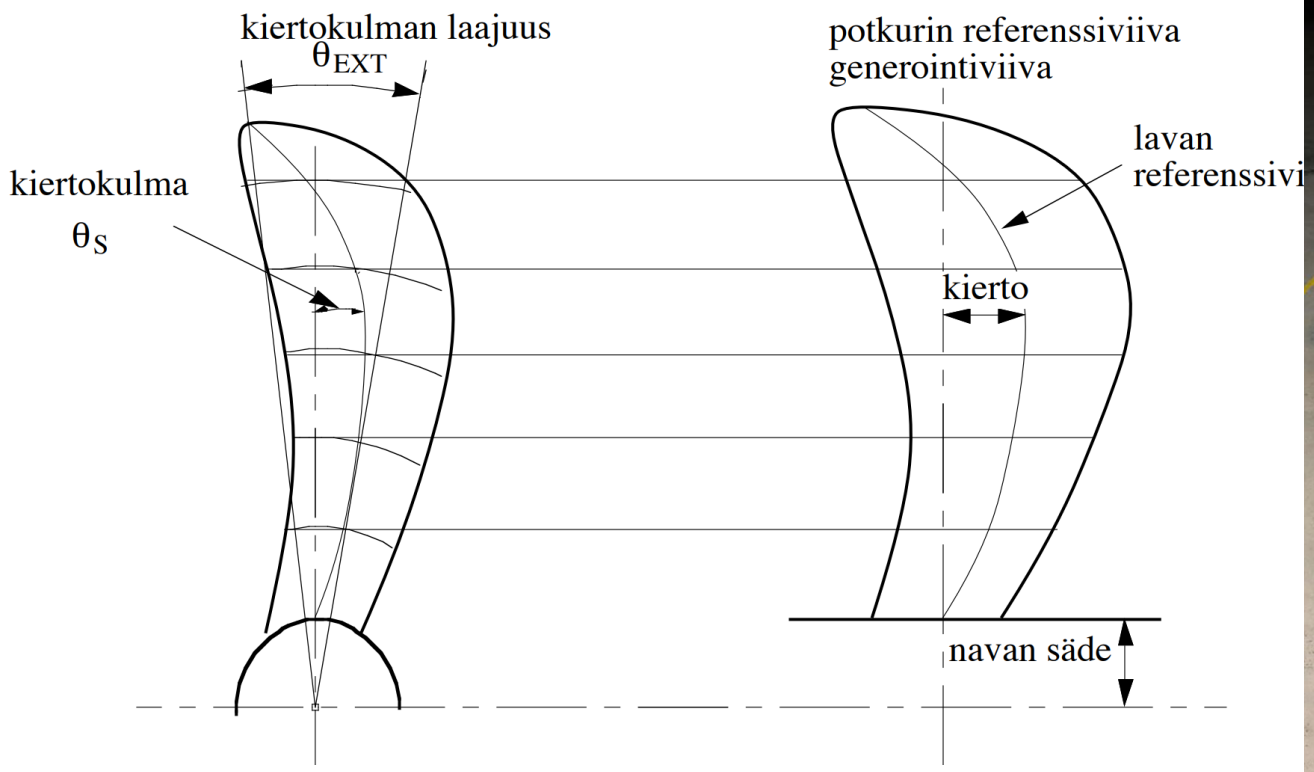


# Lavan kaltevuus ja kaltevuusjakauma



# Lavan kiertokulma (Skew)

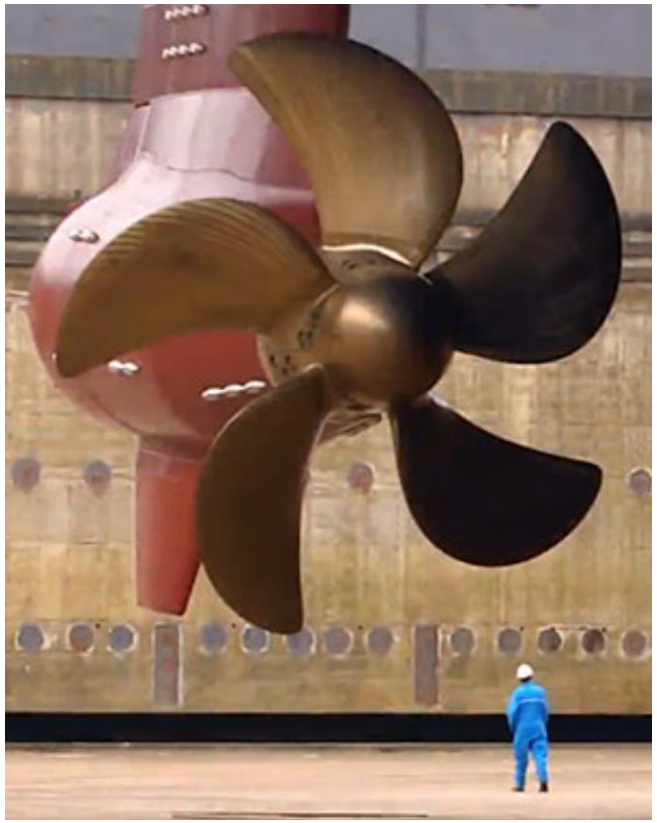
## Pienentää melua ja värähtelyä sekä vähentää lavan kavitaatiosyöpymistä. Nykyään käytetään suurta kiertoa



# Esimerkkejä nykyajan suurimmista potkureista

Emma Maersk
9.6 m, 80 MW

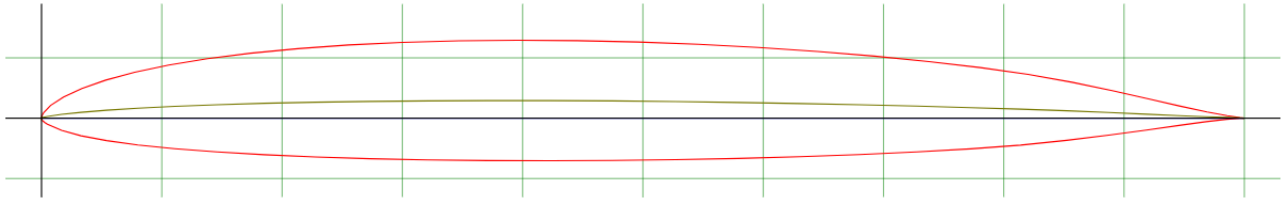
MSC Oscar
10.6 m, 62.5 MW

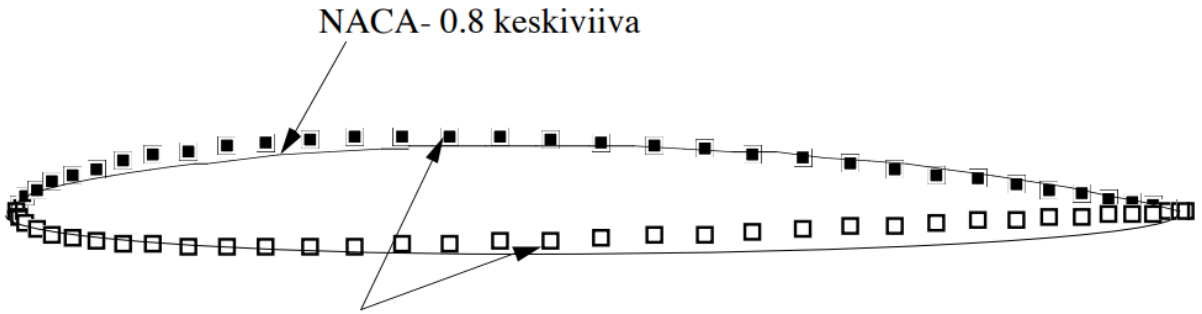


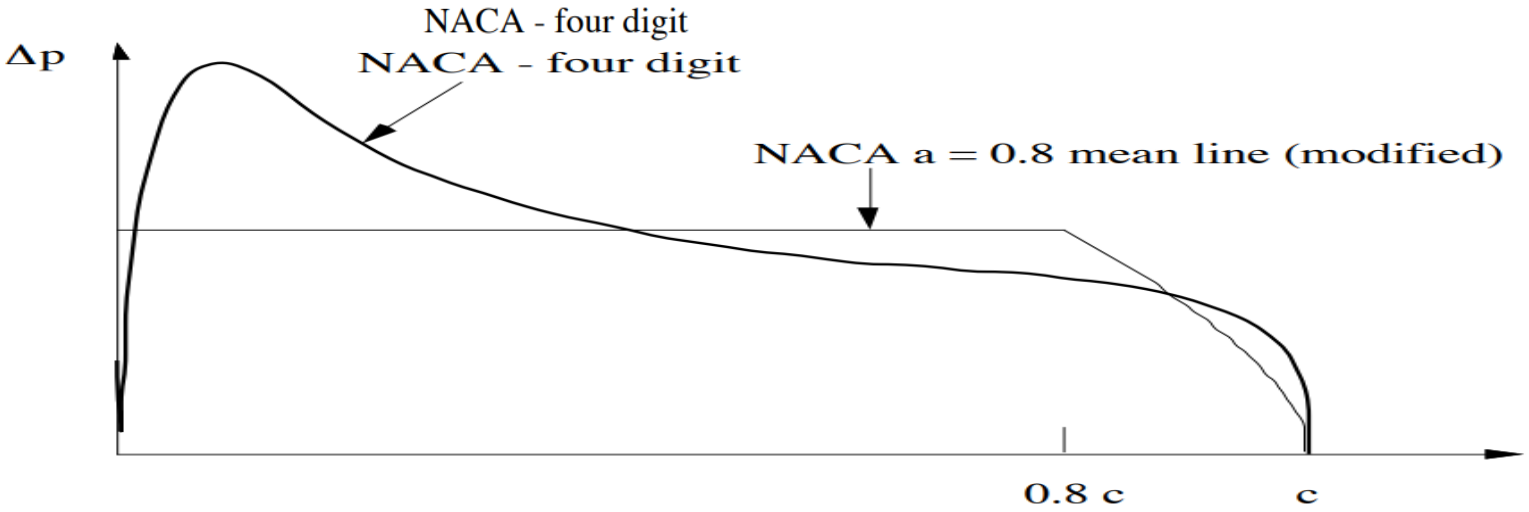
Royal Carribean Oasis luokka
6.0 m, 20 MW, 3 kpl

# Potkurin siipiprofiili

- Laivoissa käytetään yleensä NACA 0.8 paksuusjakaumaa tasaisen painejakauman takia
- Minimoi kavitaation
- Lentokoneissa yleensä NACA-4 numeroinen, missä parempi hyötysuhde





# Potkurin parametrien valinnasta

- Optimointitilanteen valinta olennainen
- Laivan vastus, nopeus, koneteho ja kierrosluku yhdessä määrittää potkurin
- Potkurin halkaisija tärkein parametri, suuri yleensä hyvä
- Potkurin nousu riippuu kierrosluvusta, että tarvittava työntö saadaan aikaan, pieni kierrosluku vaatii suuren nousun
- Mitä suurempi halkaisija, sitä pienempi kierrosluku
- Lapojen pinta-ala ei ole kovin tärkeä, pyritään pieneen pinta-alaan (pieni kitka ja halpa potkuri), mutta kavitaatio ja lavan lujuus rajoittaa
- Lapojen lukumäärä riippuu kuormituksesta (teho/halkaisija)
- Nyrkkikaavoja ei ole, parempi laskea optimipotkuri ja potkurin toiminta tietokoneella eri tilanteissa

# Höyrykoneen teho

- Osa höyryn energiasta hukkuu lämpö- ja virtaushäviöihin
- Indikoitu teho joko mittaamalla tai laskennollisesti
- Luistit, pumppu, laakerit, ym. kuluttaa 12-16 % tehosta
- Painelaakeri ja potkuriakseli hukkaa 3-4%
- Potkuriin päätyy 80-85% mekaanisesta tehosta
- Höyrykoneen tuottama vääntömomentti on vakio, eli
- Teho on suoraan verrannollinen kierroslukuun

- Antero sylinterin halkaisijat 227 ja 447,  iskun pituus 280 mm
- Kattilan suhteellinen paine 10 bar
- Potkurin momentti 4 kNm, potkuriteho 75 kW, indikoitu teho 120 ihv 180 rpm

# Antero potkurin vaihto ja tuunaus

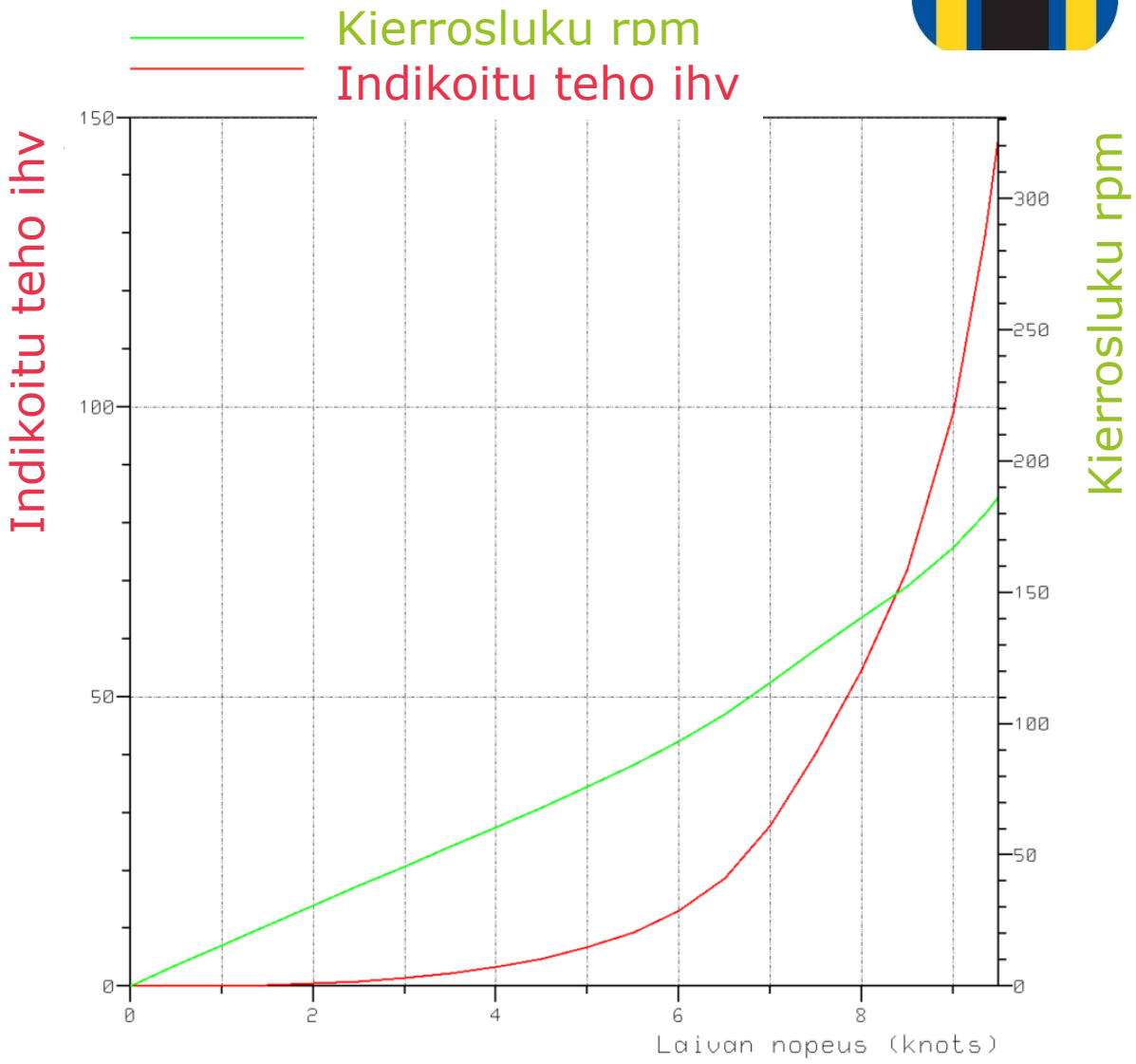
- Tuunattava potkuri
- D = 1.32 m
- P = 2.28 m
- P/D = 1.7
- Ae/Ao ~0.9

- Mahdollinen lapojen jatkaminen
- Antero yksin vapaasti tai
- Antero ja Ilma vierellään

# Aluksen kulkuvastus ja tehontarve

- Tehontarve nousee nopeuden 3. potenssiin
- Esimerkkinä Antero vapaasti

| Nopeus | Teho | Kierrosluku |
|---|---|---|
| solmua | ihv | RPM |
| 9.35 | 130 | 180 |
| 8 | 55 | 140 |
| 6 | 13 | 94 |

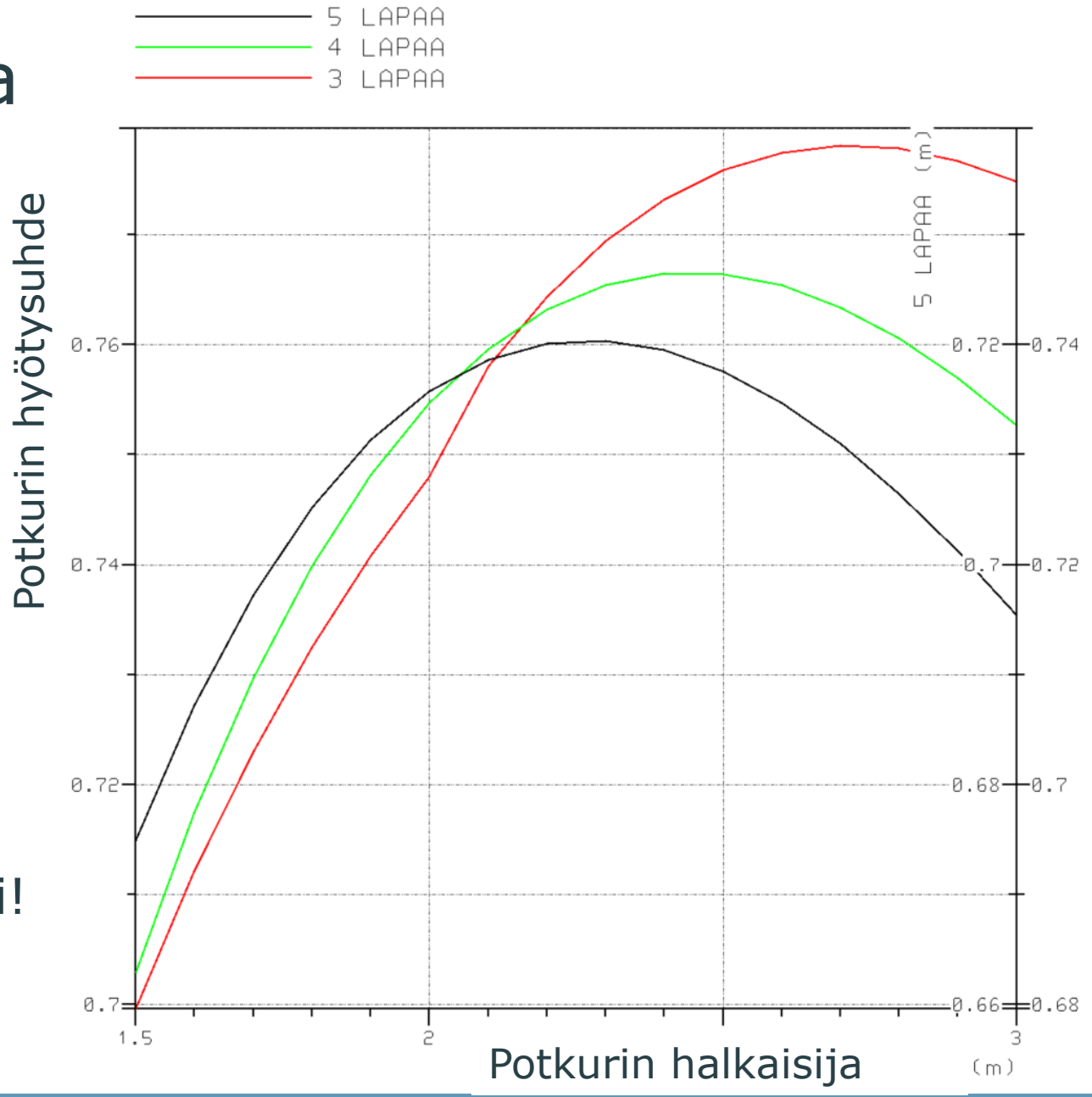


# Optimi potkurin halkaisija ja lapojen lukumäärä

Pystyakselilla potkurin hyötysuhde

$$\eta_0 = \frac{TV_a}{P}$$

- Potkuriteho 50 kW
- Optimikierrosluku laskee kun halkaisija nousee
- Laivan nopeus noin 9 solmua
- Kierrosluku vaihtelee 60 – 160 välillä
- Laivaan ei mahdu näin suuri potkuri!
- Kierrosluku liian pieni!



# Optimi potkurin halkaisija Anterolle annetulle kierrosluvulle

- Maksimi vääntömomentti Q = 3.9 kNm
- Optimihalkaisija eri koneen kierrosluvuilla
- Vsc on nopeus, mitä kulkee tällä potkurilla

$P = 2\pi NQ$
Pb = indikoitu teho ~P+18%
N = kierrosluku
Q = vääntömomentti
Vs = laivan nopeus
Ae/Ao = optimi pina-alasuhde

Antero yksin

| N rpm | Vs knots | Dp m | P/D | Pb ihv | Ae/Ao |
|---|---|---|---|---|---|
| 140 | 9,36 | 1,82 | 1,2 | 94 | 0,30 |
| 150 | 9,28 | 1,79 | 1,1 | 101 | 0,30 |
| 160 | 9,36 | 1,76 | 1,1 | 108 | 0,30 |
| 170 | 9,43 | 1,73 | 1,1 | 114 | 0,30 |
| 180 | 9,49 | 1,70 | 1 | 121 | 0,31 |
| 190 | 9,55 | 1,68 | 1 | 128 | 0,31 |
| 200 | 9,60 | 1,65 | 1 | 135 | 0,32 |

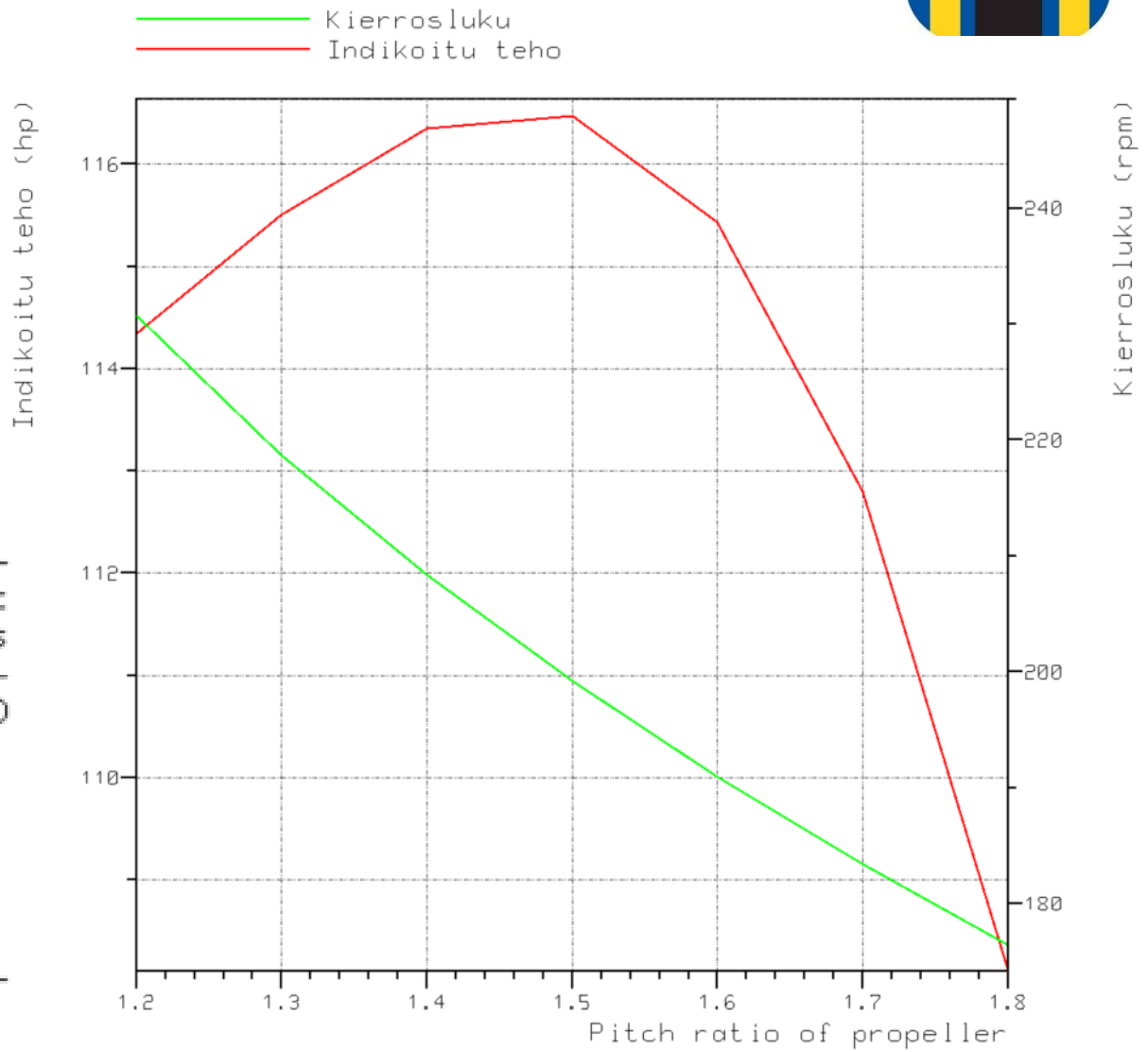
Antero + Ilma

| N rpm | Vs knots | Dp m | P/D | Pb ihv | Ae/Ao |
|---|---|---|---|---|---|
| 140 | 7,90 | 1,89 | 1 | 94 | 0,30 |
| 150 | 8,05 | 1,85 | 1 | 101 | 0,30 |
| 160 | 8,11 | 1,81 | 1 | 108 | 0,30 |
| 170 | 8,21 | 1,78 | 0,9 | 114 | 0,30 |
| 180 | 8,30 | 1,75 | 0,9 | 121 | 0,31 |
| 190 | 8,39 | 1,70 | 0,9 | 128 | 0,32 |
| 200 | 8,47 | 1,70 | 0,9 | 135 | 0,32 |

# Potkurin nousun vaikutus Antero yksin

- D = 1.32 halkaisija
- P = Nousu
- P/D noususuhde
- Nopeus 9.25 solmua

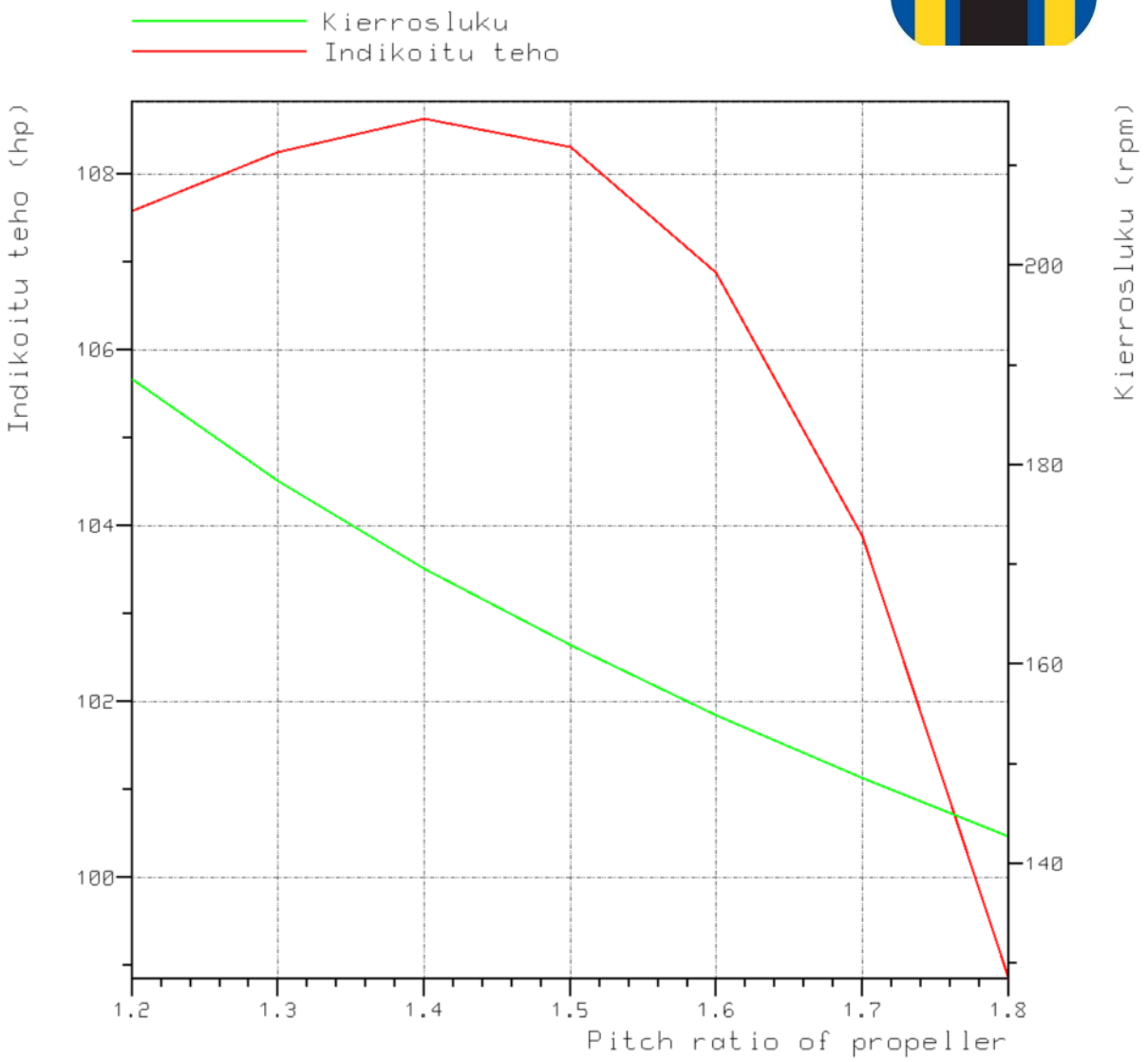
| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.320 | 1.2 | 1.58 | 230.69 | 114.3 | 2.872 | 0.351 | 9.250 |
| | 1.3 | 1.72 | 218.73 | 115.5 | 3.060 | 0.351 | |
| | 1.4 | 1.85 | 208.37 | 116.3 | 3.236 | 0.351 | |
| | 1.5 | 1.98 | 199.22 | 116.5 | 3.387 | 0.351 | |
| | 1.6 | 2.11 | 190.99 | 115.4 | 3.502 | 0.351 | |
| | 1.7 | 2.24 | 183.44 | 112.8 | 3.563 | 0.351 | |
| | 1.8 | 2.38 | 176.38 | 108.1 | 3.552 | 0.351 | |



# Potkurin nousun vaikutus Antero yksin

- D = 1.5 halkaisija
- P = Nousu
- P/D noususuhde
- Nopeus 9.25 solmua

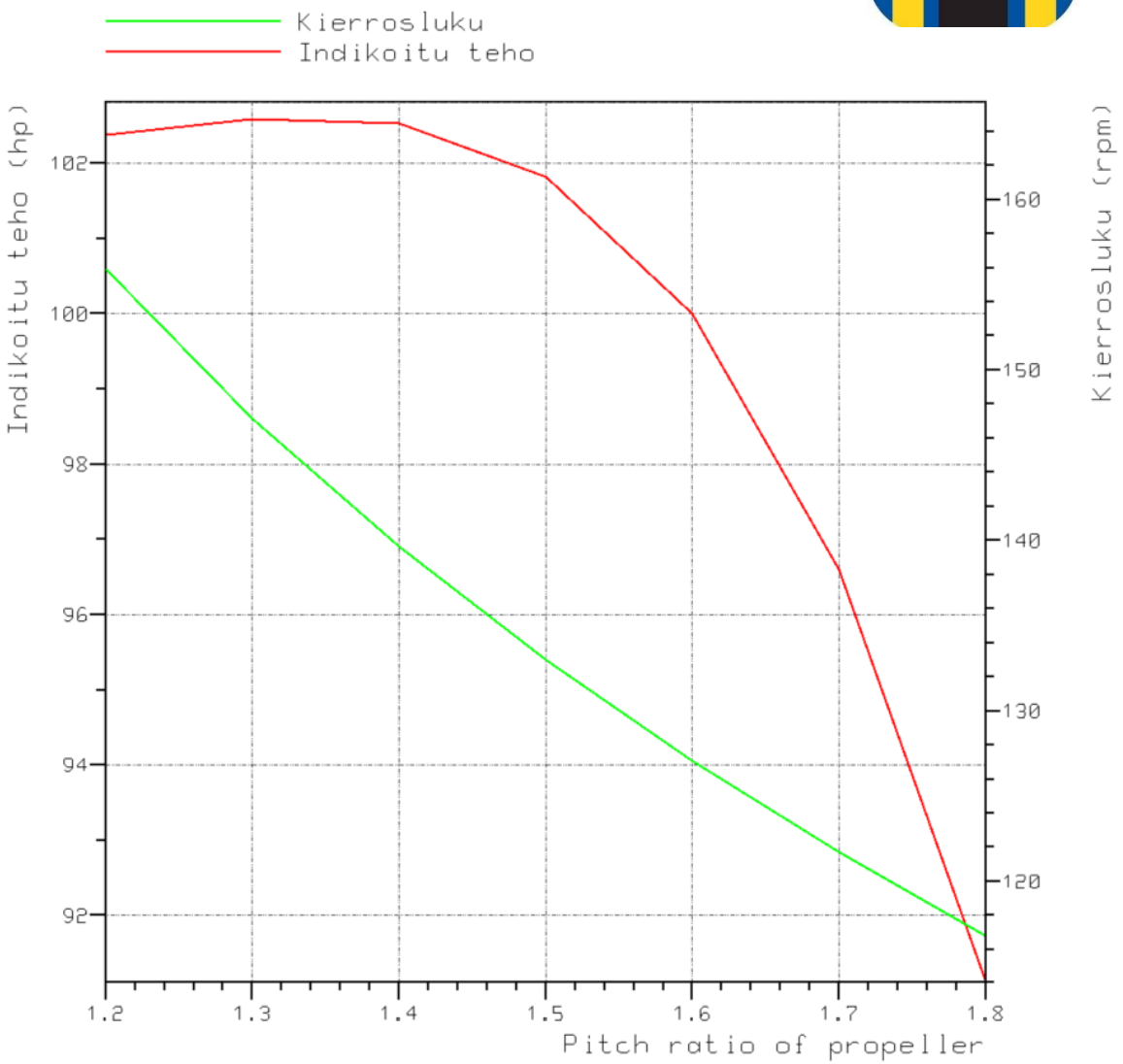
| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.500 | 1.2 | 1.80 | 188.59 | 107.6 | 3.305 | 0.317 | 9.250 |
| | 1.3 | 1.95 | 178.44 | 108.2 | 3.515 | 0.317 | |
| | 1.4 | 2.10 | 169.64 | 108.6 | 3.710 | 0.317 | |
| | 1.5 | 2.25 | 161.89 | 108.3 | 3.877 | 0.317 | |
| | 1.6 | 2.40 | 154.94 | 106.9 | 3.997 | 0.317 | |
| | 1.7 | 2.55 | 148.61 | 103.9 | 4.050 | 0.317 | |
| | 1.8 | 2.70 | 142.74 | 98.8 | 4.013 | 0.317 | |



# Potkurin nousun vaikutus Antero yksin

- D = 1.7 halkaisija
- P = Nousu
- P/D noususuhde
- Nopeus 9.25 solmua

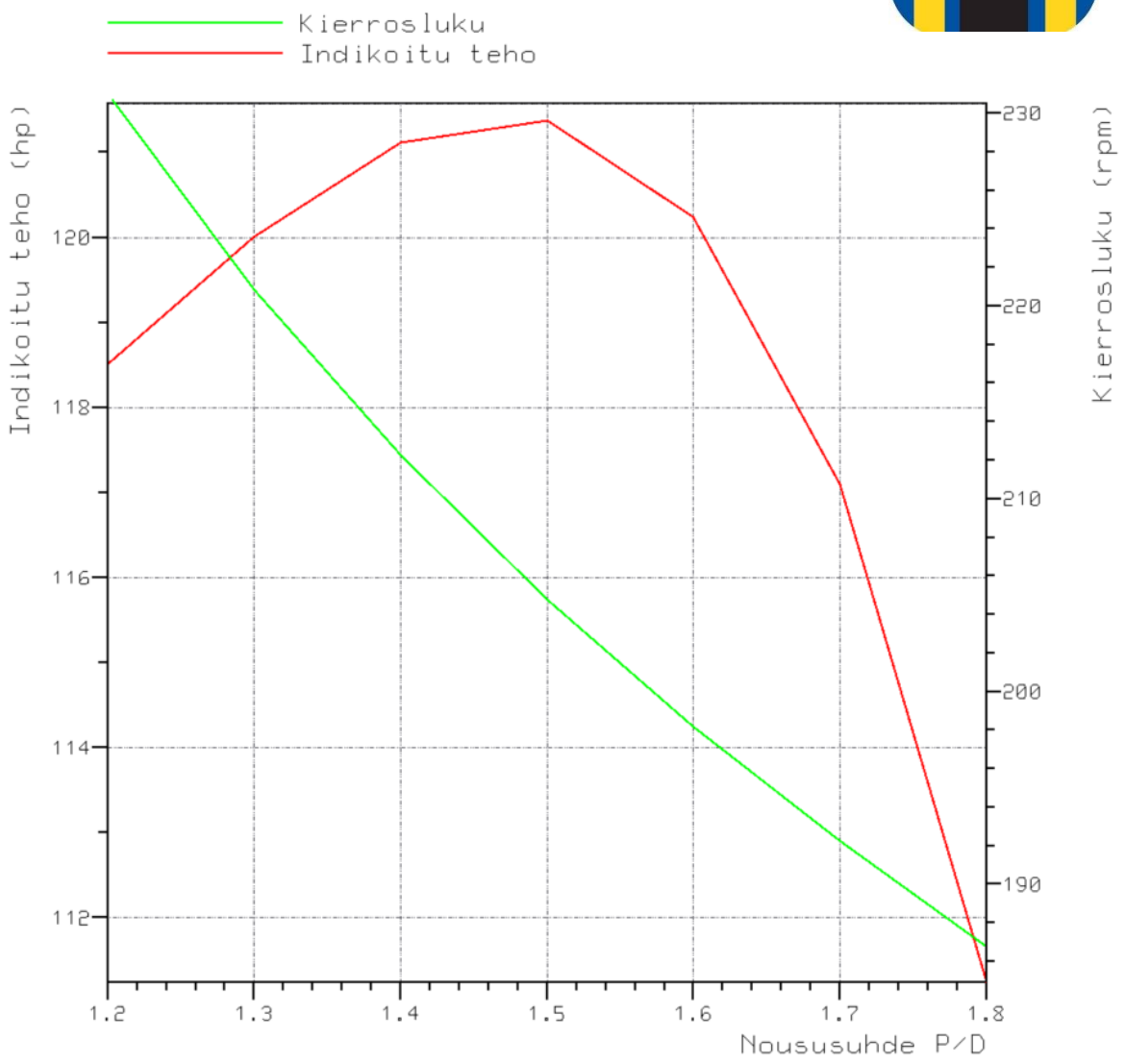
| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.700 | 1.2 | 2.04 | 155.88 | 102.4 | 3.806 | 0.291 | 9.250 |
| | 1.3 | 2.21 | 147.17 | 102.6 | 4.039 | 0.291 | |
| | 1.4 | 2.38 | 139.62 | 102.5 | 4.255 | 0.291 | |
| | 1.5 | 2.55 | 132.99 | 101.8 | 4.437 | 0.291 | |
| | 1.6 | 2.72 | 127.07 | 100.0 | 4.560 | 0.291 | |
| | 1.7 | 2.89 | 121.71 | 96.6 | 4.599 | 0.291 | |
| | 1.8 | 3.06 | 116.79 | 91.1 | 4.520 | 0.291 | |



# Potkurin nousun vaikutus Antero + Ilma

- D = 1.32 halkaisija
- P = Nousu
- P/D = noususuhde
- Nopeus 8 solmua

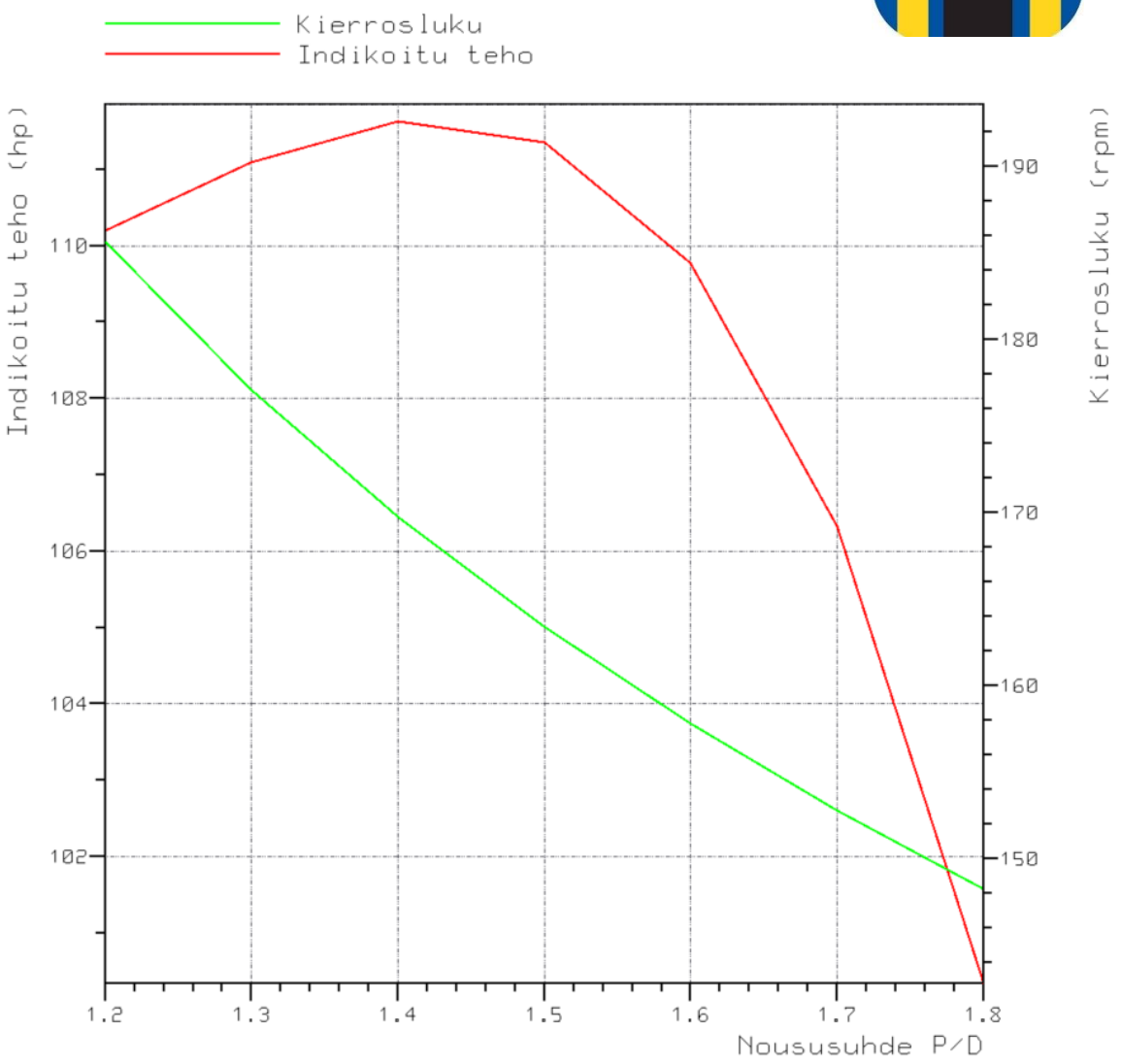
| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.320 | 1.2 | 1.58 | 231.01 | 118.5 | 2.973 | 0.369 | 8.000 |
| | 1.3 | 1.72 | 220.89 | 120.0 | 3.148 | 0.369 | |
| | 1.4 | 1.85 | 212.25 | 121.1 | 3.306 | 0.369 | |
| | 1.5 | 1.98 | 204.77 | 121.4 | 3.434 | 0.369 | |
| | 1.6 | 2.11 | 198.18 | 120.2 | 3.516 | 0.369 | |
| | 1.7 | 2.24 | 192.26 | 117.1 | 3.529 | 0.369 | |
| | 1.8 | 2.38 | 186.77 | 111.2 | 3.451 | 0.369 | |



# Potkurin nousun vaikutus Antero + Ilma

- D = 1.5 halkaisija
- P = Nousu
- P/D = noususuhde
- Nopeus 8 solmua

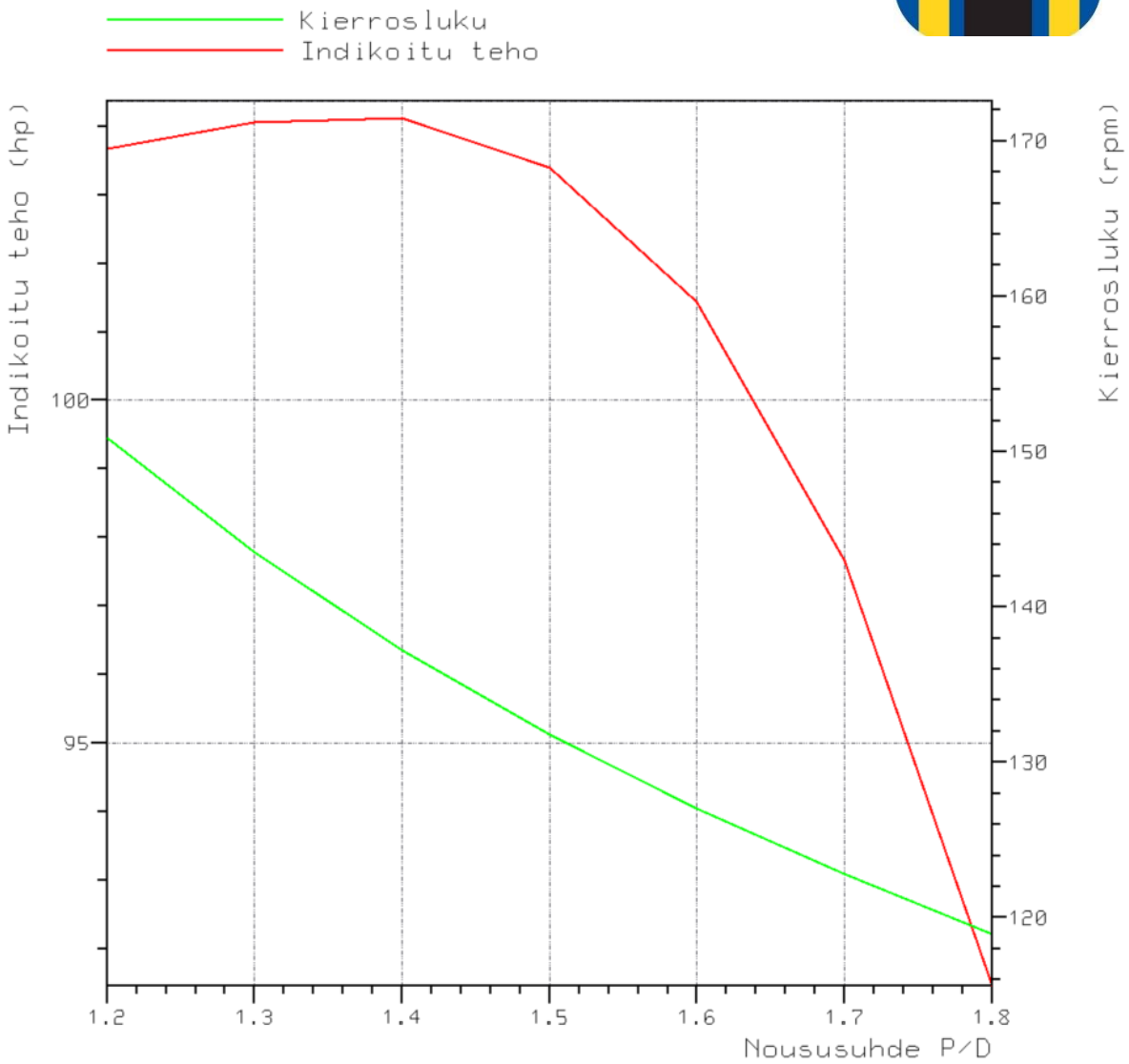
| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.500 | 1.2 | 1.80 | 185.65 | 110.2 | 3.439 | 0.331 | 8.000 |
| | 1.3 | 1.95 | 177.07 | 111.1 | 3.635 | 0.331 | |
| | 1.4 | 2.10 | 169.74 | 111.6 | 3.810 | 0.331 | |
| | 1.5 | 2.25 | 163.39 | 111.4 | 3.949 | 0.331 | |
| | 1.6 | 2.40 | 157.80 | 109.8 | 4.031 | 0.331 | |
| | 1.7 | 2.55 | 152.80 | 106.3 | 4.032 | 0.331 | |
| | 1.8 | 2.70 | 148.23 | 100.3 | 3.922 | 0.331 | |



# Potkurin nousun vaikutus Antero + Ilma

- D = 1.7 halkaisija
- P = Nousu
- P/D = noususuhde
- Nopeus 8 solmua

| Dp m | P/D | Nousu m | N rpm | Pbt hp | Q kNm | Earp | Vsc knots |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.700 | 1.2 | 2.04 | 150.85 | 103.7 | 3.982 | 0.302 | 8.000 |
| | 1.3 | 2.21 | 143.53 | 104.1 | 4.201 | 0.302 | |
| | 1.4 | 2.38 | 137.25 | 104.1 | 4.396 | 0.302 | |
| | 1.5 | 2.55 | 131.81 | 103.4 | 4.546 | 0.302 | |
| | 1.6 | 2.72 | 127.03 | 101.4 | 4.627 | 0.302 | |
| | 1.7 | 2.89 | 122.78 | 97.7 | 4.609 | 0.302 | |
| | 1.8 | 3.06 | 118.94 | 91.5 | 4.455 | 0.302 | |

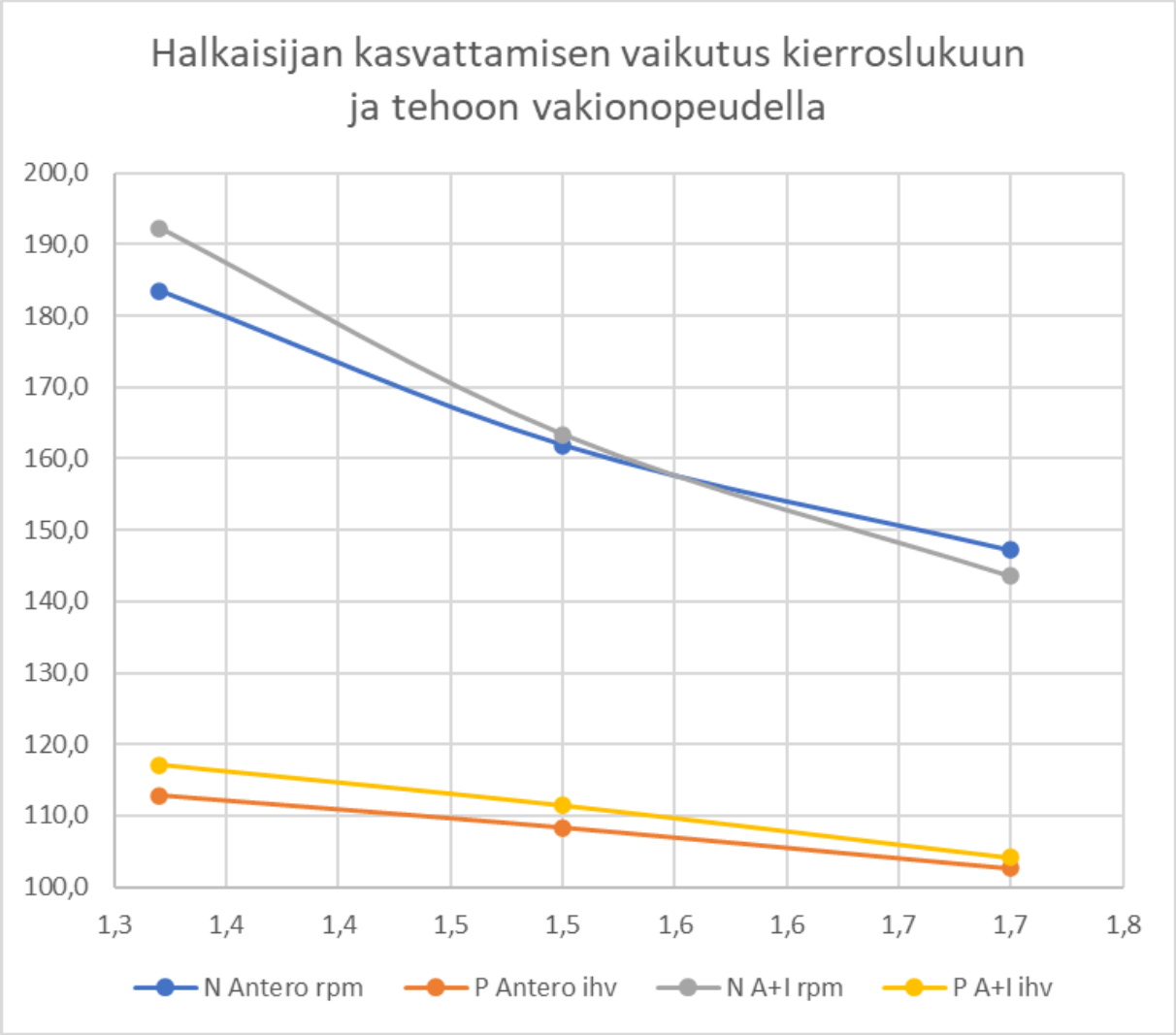


# Halkaisijan kasvattamisen vaikutukset

Antero 9,25 solmun nopeudella

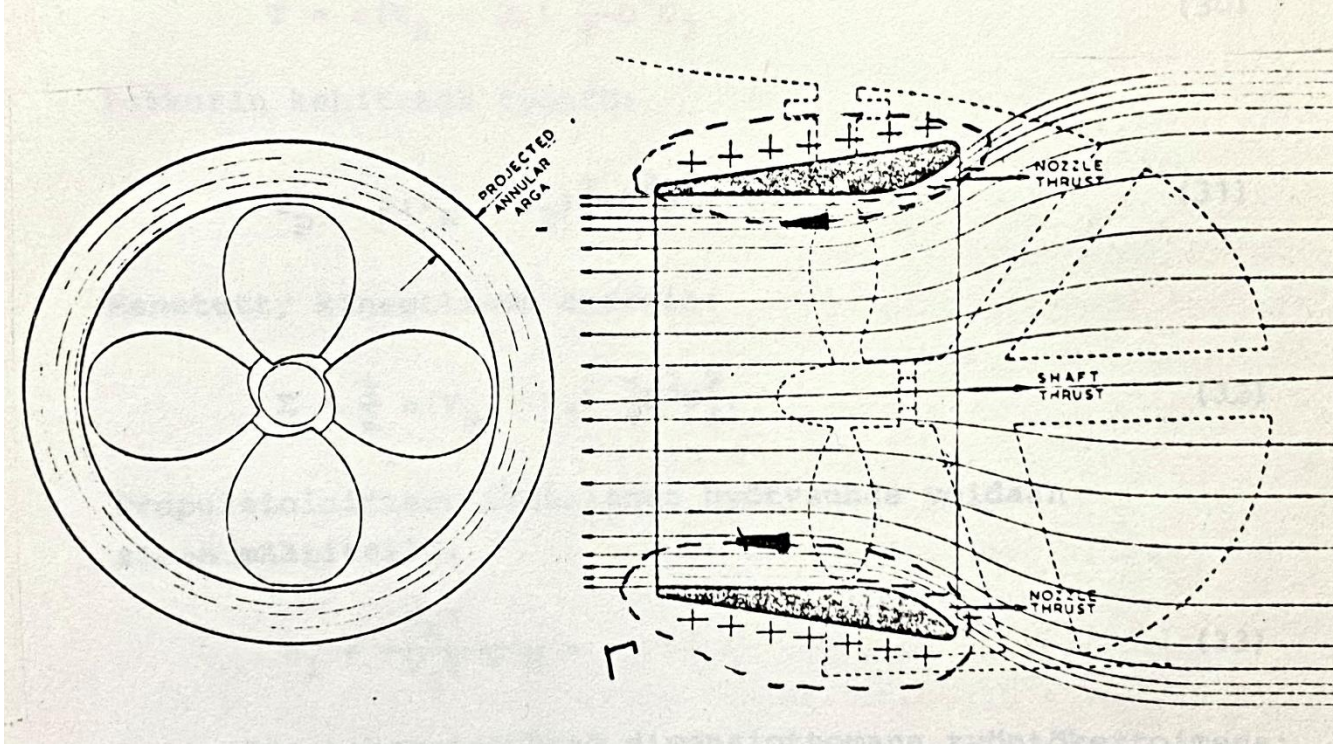
Antero + Ilma 8 solmua

| | Antero | | Antero + Ilma | |
|---|---|---|---|---|
| **D** | **N Antero** | **P Antero** | **N A+I** | **P A+I** |
| **m** | **rpm** | **ihv** | **rpm** | **ihv** |
| 1,3 | 183,4 | 112,8 | 192,3 | 117,1 |
| 1,5 | 161,9 | 108,3 | 163,4 | 111,4 |
| 1,7 | 147,2 | 102,6 | 143,5 | 104,1 |

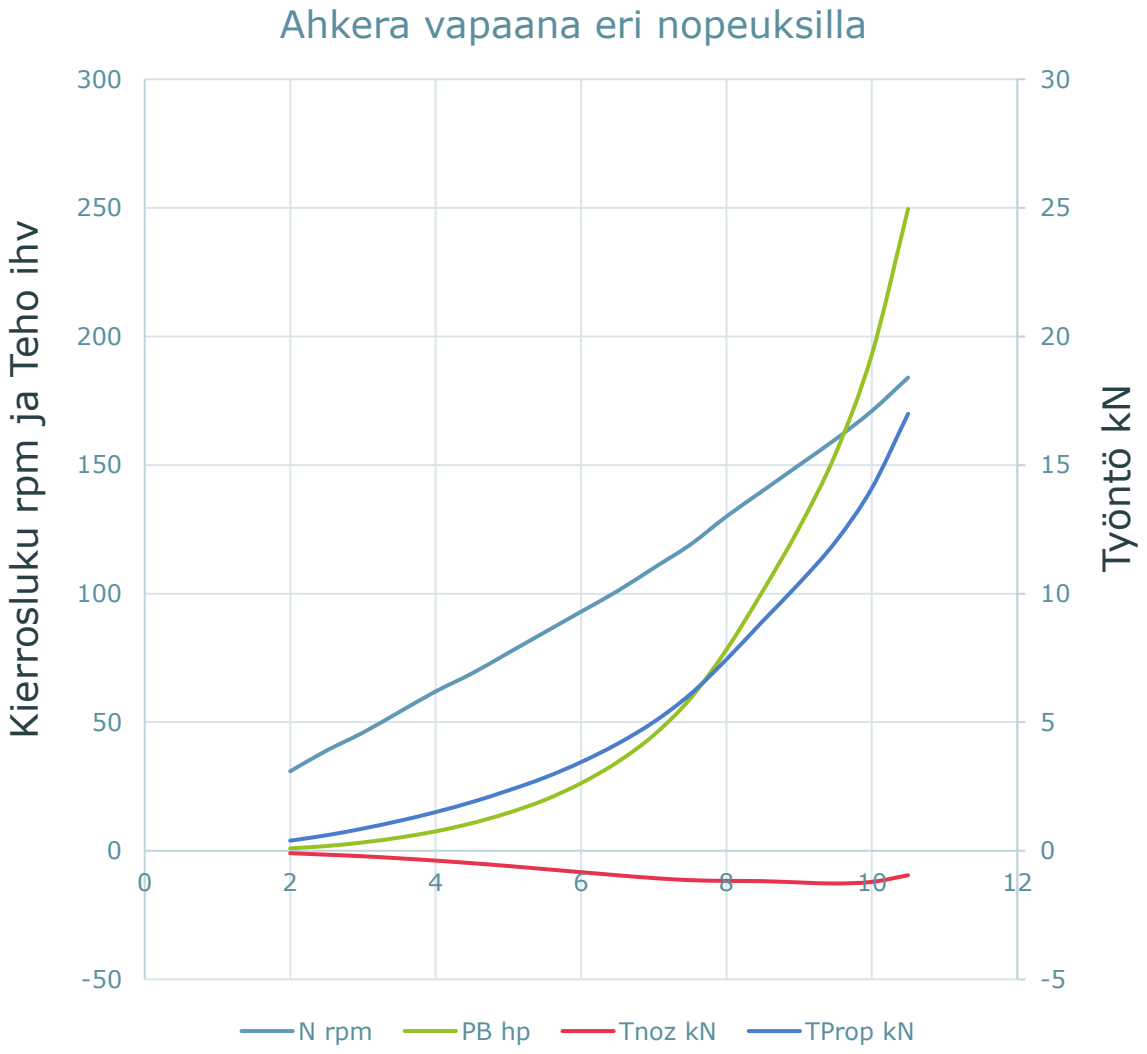


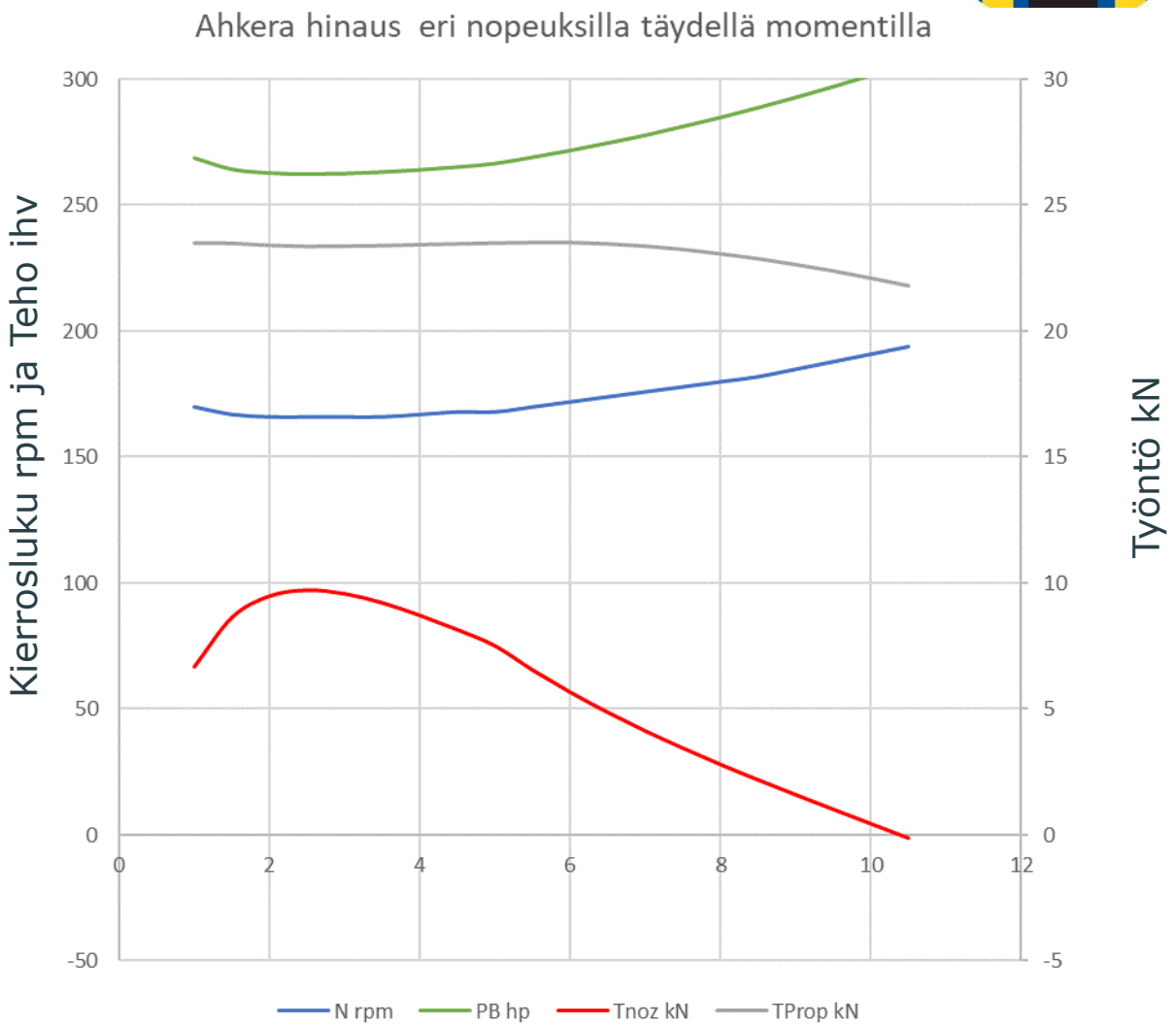
# Suulakepotkuri

# S/S Ahkera



# Ahkera suulakepotkuri vapaana ja hinaus



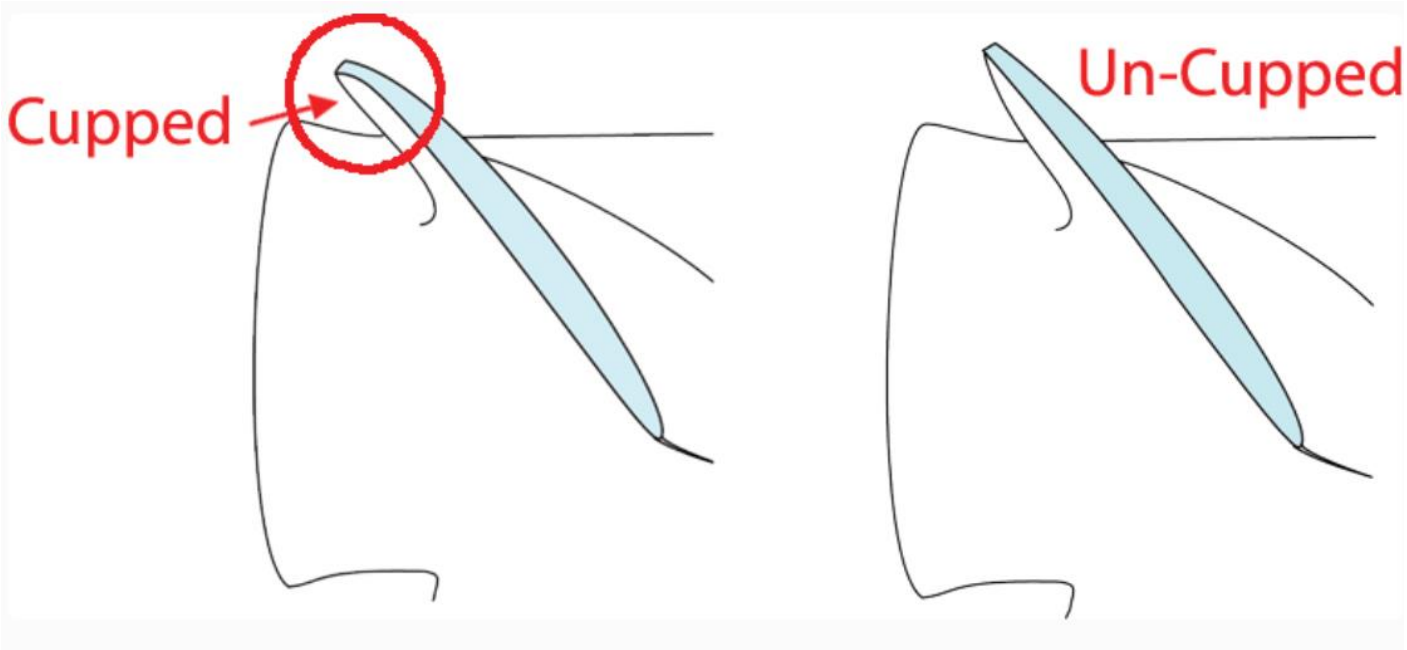
# Potkurin kunnostus

Kavitaatio syö nopeasti maalin ja myös teräksen. Kavitaatiota varottava erityisesti lavan kärjessä, missä nopeus suurin

- Oijo vääntyneet lavat
- Hio rosot pois, erityisesti etureuna
- Pyöristä lavan etureuna ja kärki
- Takareunassa saisi olla terävät viisteet lavan puolivälistä lähelle kärkeä estämässä ”laulamista”
- Tasapainotus
- Täytä suurimmat kolot
- Maalaus

# Cupped (kupattu) potkurin jättöreuna

Käytetään nopeissa veneissä, parantaa pitoa
Voi olla myös siipiprofiililtaan kiila, kuten kuvassa



# Esimerkki perämoottorin potkurista

- Yamaha 150 hp ja Yamarin Cross 64 BR
- Nopeus 35 solmua
- D = 37 cm
- P = 48 cm
- P/D=1,3
- Kierrosluku 2400 rpm
- Luisto 6%

Kiitos!