

Kavitacija

V. prof. dr. Edin Berberović

eberberovic@ptf.unze.ba

Kavitacija

- ▶ Proces kavitacije
- ▶ Dopuštena visina usisavanja
- ▶ Uslov za radni režim bez kavitacije

Proces kavitacije

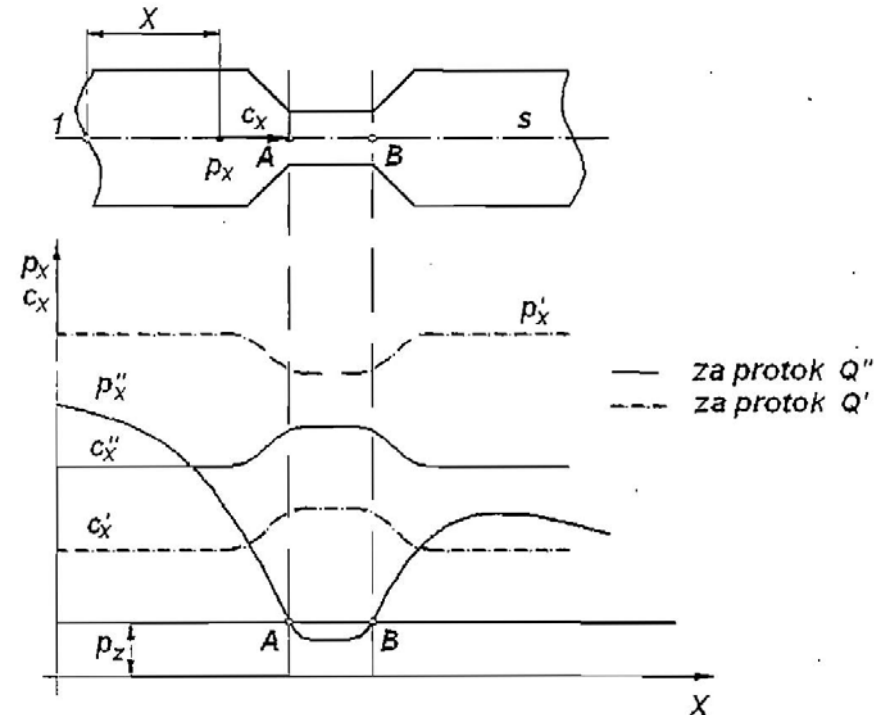
► Proces kavitacije

- Proces nastajanja i nestajanja mjehurića gasa i pare u tečnosti
 - Vrlo negativna pojava, dovodi do zamora i pucanja materijala
 - Mjehurići nastaju zbog faznog prelaza, kada pritisak tečnosti padne ispod pritiska zasićenja
 - Iz proširene B.J. duž strujnice 1-s

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_x}{\rho g} + \frac{c_x^2}{2g} + z_x + \Delta H_g$$

$$\frac{p_{tot1}}{\rho g} = \frac{p_x}{\rho g} + \frac{c_x^2}{2g} + \Delta H_g \Rightarrow \boxed{p_x = p_{tot1} - \rho \frac{c_x^2}{2} - \rho \Delta H_g}$$

- Mjehurići nastaju u presjeku A ($p_x < p_z$), rastu do presjeka B, gdje naglo pucaju



Proces kavitacije

- ▶ Na mjestu pada pritiska ispod pritiska zasićenja tečnosti, dešava se fazni prelaz, tečnost mijenja agregatno stanje
 - ▶ Pritisak zasićenja zavisi od temperature, npr. za vodu

Temperatura, °C	Pritisak zasićenja, kPa
0.01	0,61165
4	0,81355
10	1,2282
14	1,5990
20	2,3393
30	4,2470
40	7,3849
60	19,946
80	47,414
100	101,42

Proces kavitacije

- ▶ Naglo se stvaraju se mjehurići gasa (pare)
- ▶ Ulaskom mjehurića u područje višeg pritiska iznad pritiska zasićenja, dolazi do naglog pucanja (implozije) mjehurića
- ▶ Generiraju se nagle perturbacije i sile koje opterećuju materijal
- ▶ Dinamički proces se ponavlja što dovodi do zamora i pucanja materijala



- ▶ Kavitacija u cjevovodu, a posebno u strujnim mašinama, obavezno se mora izbjeći
- ▶ Za procjenu nastanka kavitacije koristi se visina usisavanja pumpi H_s

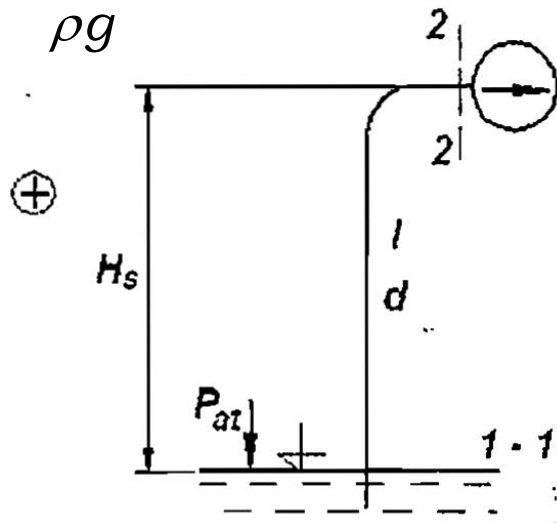
Dopuštena visina usisavanja

► Dopuštena visina usisavanja

- Predstavlja onu visinu usisavanja pri kojoj ne nastaje kavitacija
- Visina usisavanja se određuje se iz proširene B.J.

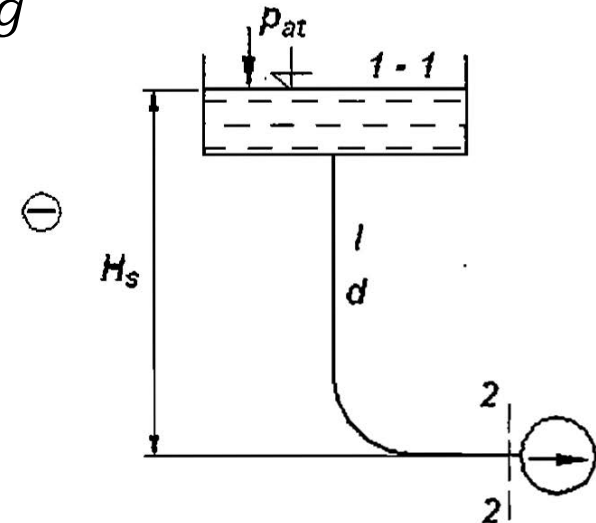
Pozitivna usisna visina

$$H_s = \underbrace{\frac{p_{at} - p_2}{\rho g}}_{\frac{p_v}{\rho g}} - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right)$$



Negativna usisna visina

$$-H_s = \underbrace{\frac{p_{at} - p_2}{\rho g}}_{\frac{p_v}{\rho g}} - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right)$$



Dopuštena visina usisavanja

- ▶ Stvarna visina usisavanja na koju treba postaviti pumpu je manja od teorijske

$$H_s = \frac{p_v}{\rho g} - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right) - \sigma H$$

- ▶ Koeficijent kavitacije σ se dobija eksperimentalnim ispitivanjem
- ▶ H je napor pumpe
- ▶ Koeficijent kavitacije σ
 - ▶ Ovisi od profila lopatica radnog kola, režima strujanja i napora pumpe H
 - ▶ Kavitacija će nastupiti kada koeficijent kavitacije σ uđe u kritično područje ($\sigma = \sigma_{kr}$) koje se određuje eksperimentalno na modelu pumpe

Uslov za radni režim bez kavitacije

► Uslov za radni režim bez kavitacije

- Kavitacija kod pumpi se mora izbjegavati
 - Da ne bi došlo do oštećenja lopatica i ostalih dijelova radnog kola
 - Rad pumpe u kavitacionom području smanjuje njen stepen iskorištenja
 - Uslov za izbjegavanje kavitacije, za pozitivnu visinu usisavanja

$$\underbrace{\frac{p_{at} - p_2}{\rho g} - H_s - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right)}_a > \underbrace{\sigma H}_b$$

a - kavitaciona karateristika sistema, b - kavitaciona karakteristika pumpe

- Uslov za izbjegavanje kavitacije, za negativnu visinu usisavanja

$$\underbrace{\frac{p_{at} - p_2}{\rho g} + H_s - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right)}_a > \underbrace{\sigma H}_b$$

Primjer



Pumpa dostavlja vodu iz rezervoara kotla niskog pritiska, prema slici. Izračunati na kojoj visini iznad pumpe mora biti postavljen rezervoar da bi se izbjegla kavitacija, ako se zna da na ulazu u pumpu vlada isti podpritisak kao i u rezervoaru. Zadano je:

$$\rho = 983 \text{ kg/m}^3,$$

$$\dot{m} = 27 \text{ kg/s}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

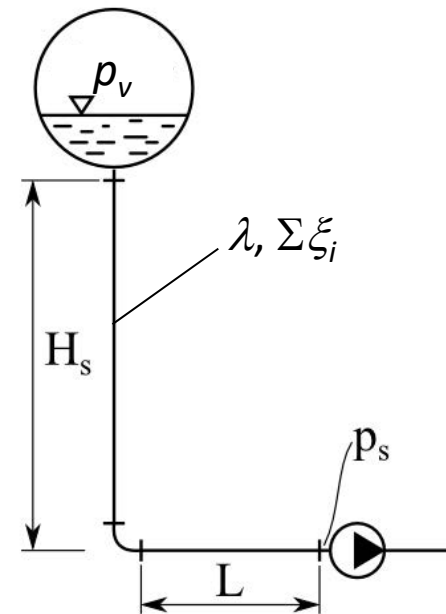
$$d = 100 \text{ mm}$$

$$\lambda = 0,2$$

$$\Sigma \xi_i = 5$$

$$H = 82 - 4800Q^2$$

$$\sigma H = 1,6 + 13600Q^2$$



Primjer



Protok i srednja brzina strujanja

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{27}{983} = 0,02747 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, \quad c = \frac{Q}{A} = \frac{0,02747}{\frac{0,1^2 \pi}{4}} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Napor i kavitaciona karakteristika pumpe

$$H = 82 - 4800Q^2 = 82 - 4800 \cdot 0,02747^2 = 78,38 \text{ m}$$

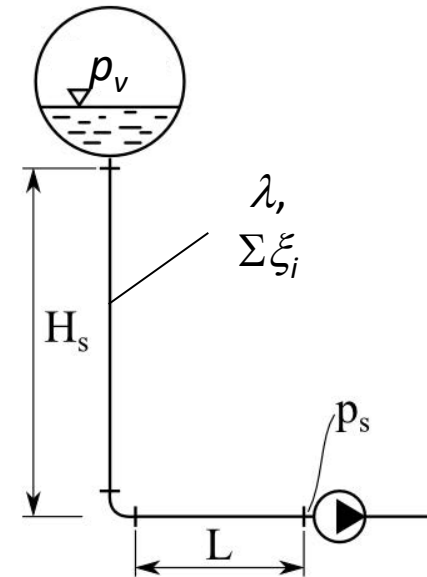
$$\sigma H = 1,6 + 13600Q^2 = 1,6 + 13600 \cdot 0,02747^2 = 2,626 \text{ m}$$

Uslov da ne bi došlo do kavitacije

$$\frac{p_v - p_s}{\rho g} + H_s - \frac{c^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{H_s + L}{d} + \sum \xi_i \right) > \sigma H$$

Prema uslovima zadatka zadano je

$$p_v = p_s \Rightarrow p_v - p_s = 0$$



Primjer



Minimalna potrebna visina rezervoara (visina usisavanja)

$$H_s > \frac{2,626 + \frac{3,5^2}{2 \cdot 9,81} \left(0,02 \cdot \frac{10}{0,1} + 5 \right)}{\left(1 - \frac{3,5^2}{2 \cdot 9,81} \frac{0,02}{0,1} \right)}$$

$$H_s > 7,99 \text{ m}$$

Koeficijent kavitacije za ovaj slučaj iznosi

$$\sigma = \frac{\sigma H}{H} \Rightarrow \frac{2,626}{78,38} = 0,0335$$