

## Proračun jednostavnog cjevovoda

na raspolaganju su nam:

jednačina kontinuiteta

$$Q = vA = v \frac{\pi d^2}{4} = \text{konst.}$$

Bernulijeva jednačina

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + h_g$$

jednačina  
gubitaka

$$h_g = \sum_j \left( \lambda_j \frac{l_j}{d_j} + \sum_i \zeta_{ji} \right) \frac{v_j^2}{2g}$$

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda 2

Colebrook-White-ova formula ili Moody-ev dijagram, i tablice lokalnih gubitaka

U te formule ulaze  $R_e$ ,  $Q$ ,  $v$ ,  $d$ ,  $l$ ,  $h_g$ ,  $\lambda$ ,  $\zeta$ ,  $e/d$  i  $v$

o  $\lambda$  i  $\zeta$  ne možemo ništa reći dok ne saznamo  $R_e$

od varijabli  $Q$ ,  $v$ ,  $d$  i  $h_g$  moramo znati dvije da bi mogli naći preostale ( $l$  – dužinu smatramo uvijek poznatom iz geometrije cjevovoda!)

zavisno od toga koje od tih promenljivih poznajemo, račun se može odvijati na 6 različitih načina!

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 1

poznato:  $v$  i  $d$ , traži se  $Q$  i  $h_g$ :

$$Q = v \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

iz tablica nađemo  $e/d$ , koef. trenja cijevi i lokalne gubitke, i na kraju  $h_g$  iz jednačine gubitaka.

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 2

poznato:  $Q$  i  $d$ , traži se  $v$  i  $h_g$ :

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

a dalje kao i u slučaju 1!

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 3

poznato:  $Q$  i  $v$ , traži se  $d$  i  $h_g$

(brzina je obično zadana kao minimalna, maksimalno dozvoljena ili najpovoljnija):

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

iz tablica nađemo prvi veći standardni prečnik cijevi i dalje radimo kao i u slučaju 1.

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 4

poznato:  $d$  i  $h_g = h_e$ , traži se  $v$  i  $Q$ .

problem: gubici zavise od  $v$ , koja je data sa:

$$v = -2 \log \left( \frac{2,51\nu}{d} \sqrt{\frac{l + l_e}{2gdh_e}} + \frac{\frac{k}{d}}{3,71} \right) \sqrt{\frac{2gdh_g}{l + l_e}}$$

$l_e$  je tzv. ekvivalentna dužina lokalnih gubitaka (lokalni gubici pretvoreni u dužinu cijevi koja bi imala iste gubitke):

$$l_e = \frac{d}{\lambda} \sum \zeta$$

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 4-2

Kako neznamo brzinu, ne možemo odrediti  $R_e$  ni iznos gubitaka, pa se ove jednačine rešavaju iteracijom ! Prvo se uz zanemarivanje lokalnih gubitaka ( $l_e=0$ ) procjeni brzina po jednostavnijoj formuli:

$$v_1 = \left( 5,04 - 8,86 \log \frac{e}{d} \right) \sqrt{\frac{dh_g}{l}}$$

Sa  $v_1$  uđe se u tačnu formulu za brzinu, dobijena vrijednost  $v_2$  opet se uvrsti u tu formulu a nakon nekoliko iteracija dobije se dovoljno tačna vrijednost brzine s kojom se onda napravi ostatak proračuna.

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 5

poznato  $h_g$  i  $v$ , traži se  $d$  i  $Q$ :

pretpostavka:  $d$  je uvijek isti

$$d = \left( \lambda + \frac{d}{l} \sum_i \zeta_i \right) \frac{l + l_e}{h_g} \frac{v^2}{2g}$$

Iteraciju počinjemo sa zanemarivanjem lokalnih gubitaka i uz  $\lambda=0,02$ . Tako dobijeni  $d_1$  upotrijebimo za proračun  $R_e$  i  $e/d$  a time i svih gubitaka, pomoću kojih iz gornje formule računamo  $d_2$  itd...

---



## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 5-2

na kraju još izračunamo protok:

$$Q = v \frac{\pi d^2}{4}$$

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 6

zadano  $h_g$  i  $Q$ , traži se  $d$  i  $v$ :

(radi jednostavnosti i opet držimo prečnik cjevi konstantnim!)

$$d = \sqrt[5]{\frac{8l \left( \lambda + \frac{d}{l} \sum_i \right) Q^2}{g\pi^2 h_g}}$$

iteraciju počinjemo sa

$$d_1 = 0,278 \sqrt[5]{\frac{lQ^2}{h_g}}$$

---

## Proračun jednostavnog cjevovoda - slučaj 6-2

a dalje radimo kao i u slučaju 5. Na kraju brzinu nađemo po poznatoj formuli:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

---

## Prikazivanje energetske i piježometarske linije

$$h_e = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z + h_g$$

$$\frac{v^2}{2g}$$

predstavlja kinetičku energiju (brzinska visina)

$$\frac{p}{\rho g}$$

je doprinos pritiska potencijalnoj energiji vode (pritiska visina)

$z$  je potencijalna energija vode (geodetska visina)

$h_g$  je gubitak energije u sistemu

---

## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 2

$h_e$  je ukupna energija, mjereno prema referentnoj ravni

Referentna ravan postavlja se:

kod istjecanja slobodno na osu izlaznog otvora (ili cijevi)

kod istjecanja ispod površine tečnosti na površinu tečnosti

$z$  je potencijalna energija vode (geodetska visina)

---

## Prikazivanje energetske i pjezometarske linije 3

$h_e$  je jednaka zbiru svih gubitaka, uključujući i izlaznu energiju.

Ako je cijev svugdje istog prečnika onda je:

$$h_e = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum_i \zeta_i \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \sqrt{\frac{2gh_e}{\lambda \frac{l}{d} + \sum_i \zeta_i}}$$

---

## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 4

i na kraju, protok je:

$$Q = vA = v \frac{\pi d^2}{4}$$

Ako se prečnik cijevi mijenja, situacija je složenija:

$$h_e = \sum_j \left( \lambda_j \frac{l_j}{d_j} + \sum_i \zeta_{ji} \right) \frac{v_j^2}{2g}$$

---

## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 5

a brzinu u pojedinim dijelovima cijevi nalazimo uz pomoć jednačine kontinuiteta:

$$v_i = v_1 \left( \frac{d_i}{d_1} \right)^2$$

Protok je naravno konstantan!

Račun se sprovodi od ulaza prema izlazu cjevovoda.

Prvo se računaju brzine da bi se mogli naći koeficijenti otpora.

Nekih puta brzine i koeficijenti moraju se tražiti iterativno.

---



## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 6

Prvo se nacrtava skica cjevovoda u razmjeri .

Horizontalna i vertikalna razmjera mogu biti različite.

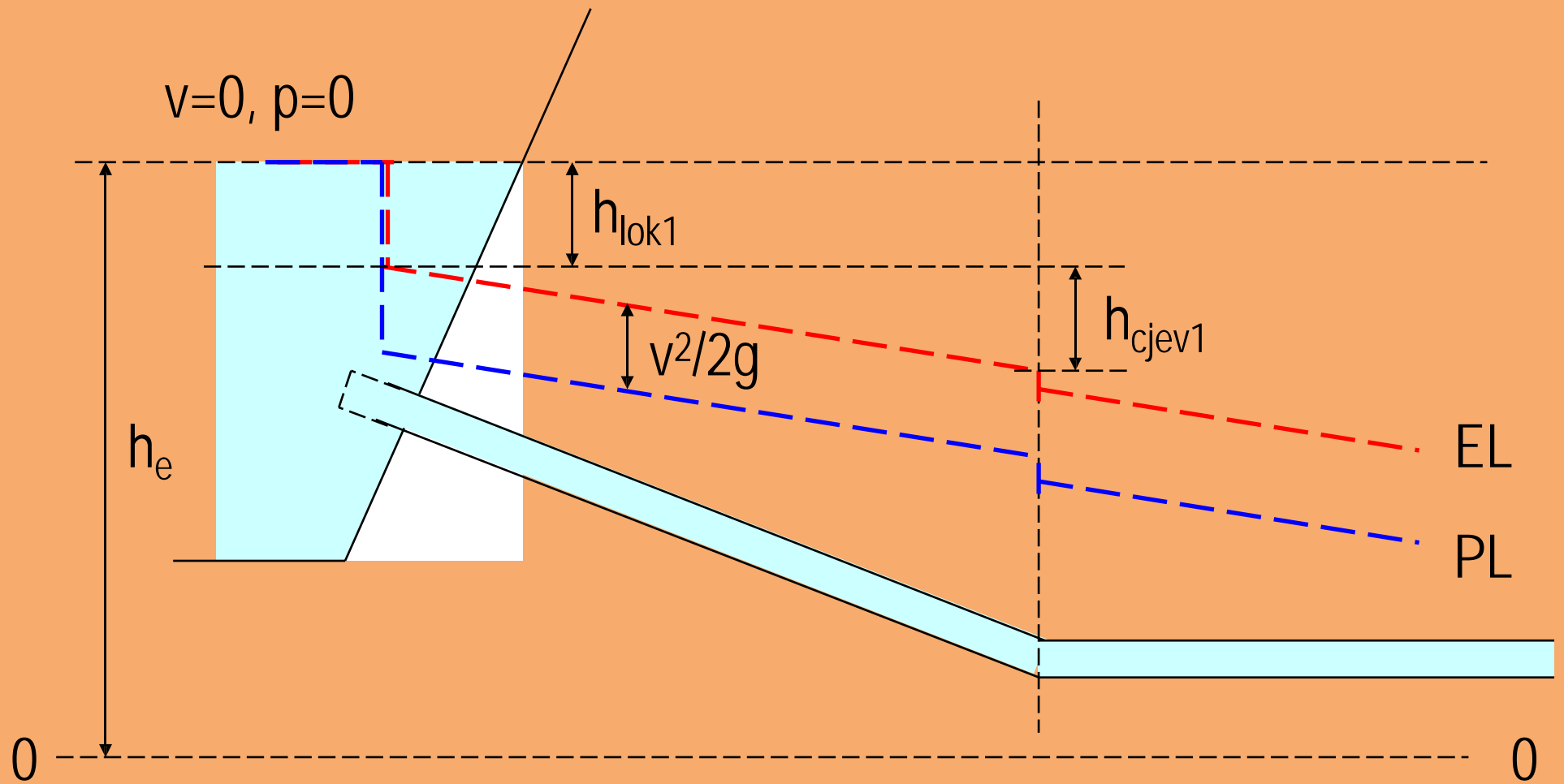
Crtanje počinje sa EL i to od ulaza u cjevovod prema njegovom kraju.

EL počinje od površine vode, pada za iznos ulaznih gubitaka i ide prema dolje s nagibom koji odgovara gubicima u cijevi.

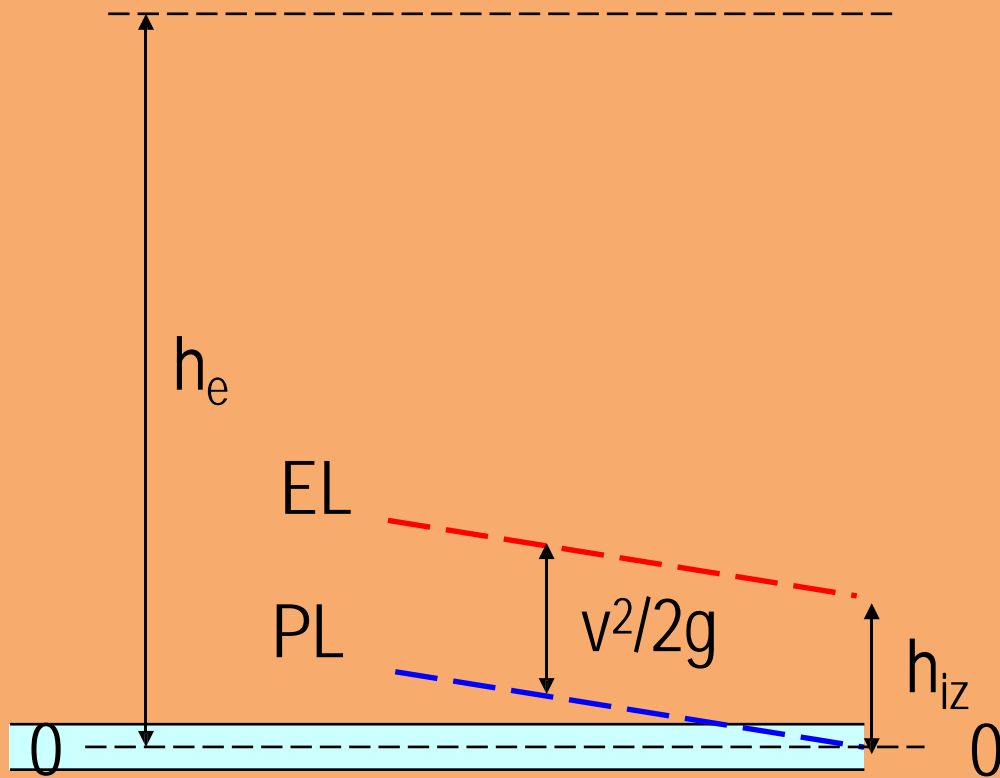
Kod svakog lokalnog gubitka EL pada prema dolje za iznos tog gubitka.

---

# Prikazivanje energetske i piježometarske linije 7

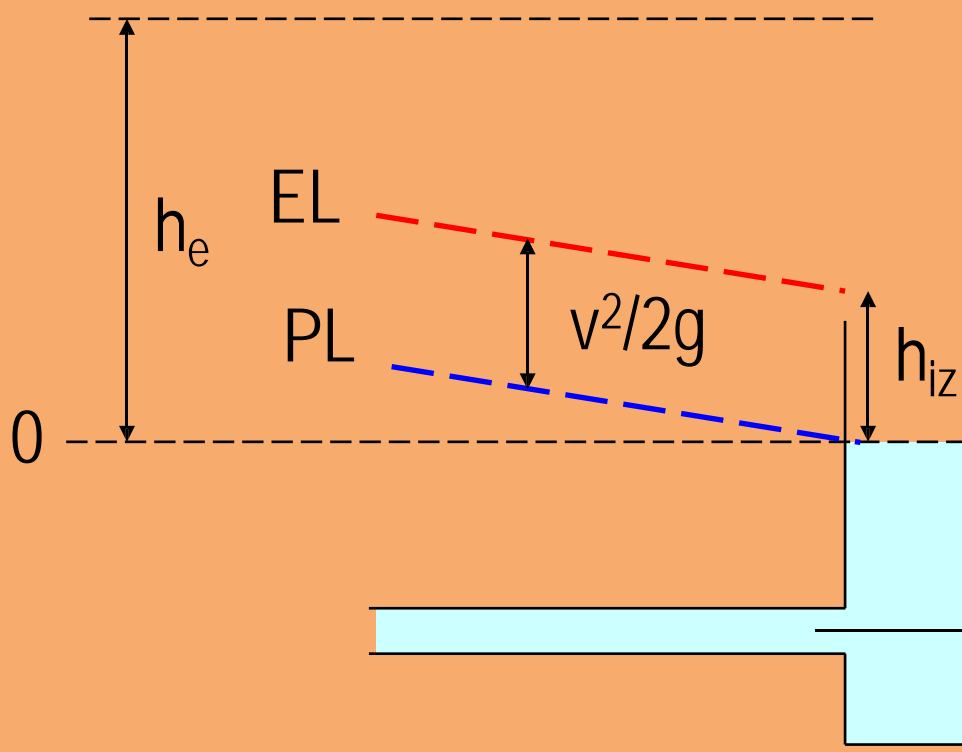


# Prikazivanje energetske i piježometarske linije 8



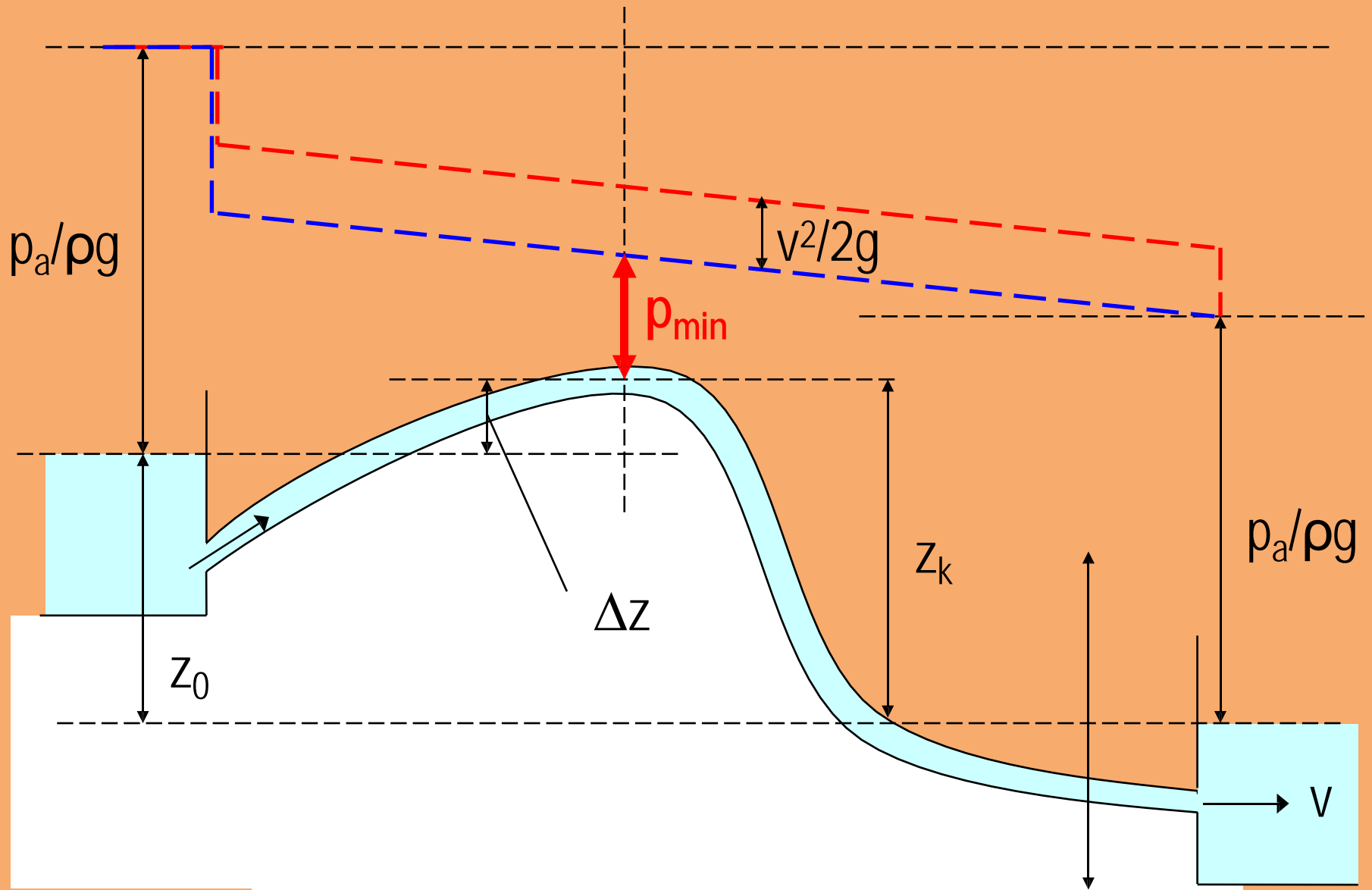
na mjestu isticanja u atmosferu pritisak pada na nulu, a EL pada za izlaznu energiju do piježometarske linije! (mlaz i dalje ima tu kinetičku energiju!).

# Prikazivanje energetske i pijeziometarske linije 9



na mjestu istjecanja pod vodom, PL pada na površinu vode, a EL pada za izlaznu energiju do Pijeziometarske linije

# Prikazivanje energetske i pijeziometarske linije 10



## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 11

kad se cijev uzdiže iznad površine rezervoara, radi se sa apsolutnim pritiscima .

Na crtežu se EL i PL izdižu za  $p_a/\rho g \approx 10,3$  m  
piježometarska linija ne može biti niža od:

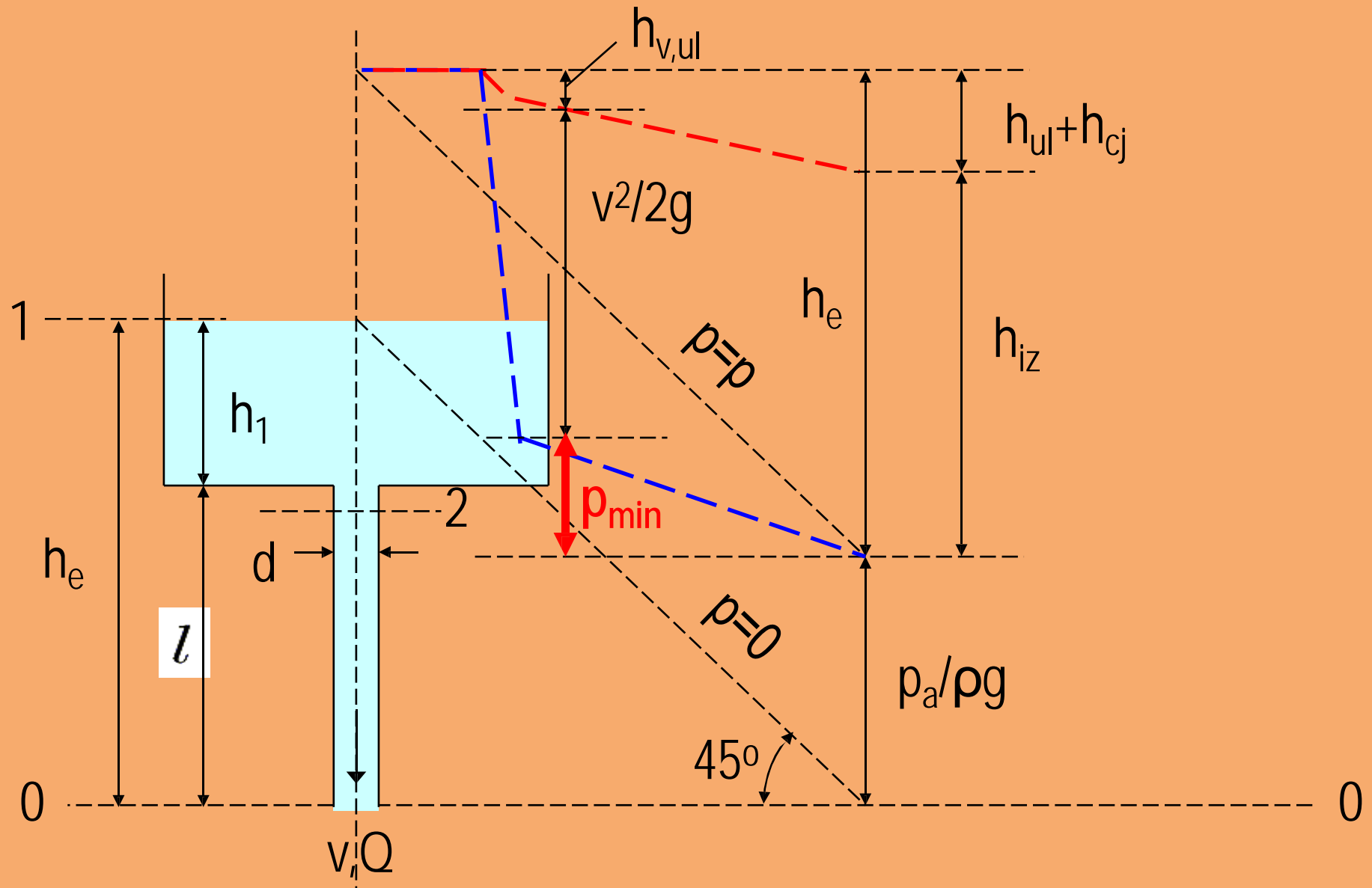
$$-\frac{p}{\rho g} = \frac{p_{atm} - p_p}{\rho g} \approx 10 \text{ m}$$

$p_p$  je pritisak vodene pare (30-40 mBar  $\approx 0,4$  m). U stvarnosti do kavitacije dolazi već kod:

$$p_{min} \approx 2...3 \text{ m}$$

---

# Prikazivanje energetske i pijeziometarske linije 12



## Prikazivanje energetske i piježometarske linije 13

kod vertikalnih cijevi (ispusni šahtovi i sl.), EL i PL padaju zajedno sa osi cijevi a se ne mogu prikazati. Zato se:

a.cрта graf sa horizontalnom osi i na njemu prikazuju EL i PL

b.cрта. tzv. idealna os cijevi pod uglom od  $45^\circ$  i uz nju se prikazuju EL i PL.

U oba slučaja koristi se apsolutni pritisak

PL ne može biti niža od 2-3 m (aps.) pa BJ (1-2) daje max.

brzinu istjecanja:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2g \left( \frac{p_{atm} - p_p}{\rho g} + h_1 \right)}{1 + \zeta_{ul}}}$$