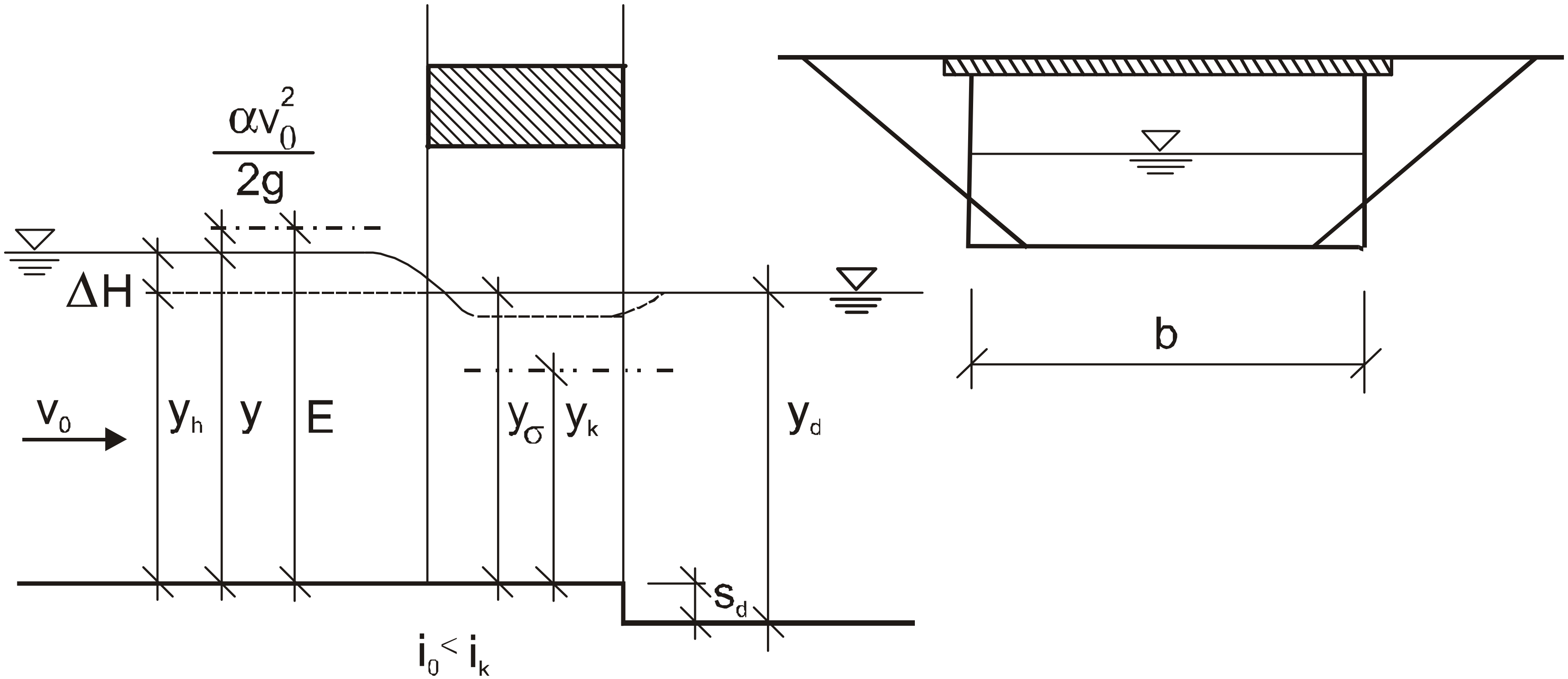
MOSTY

Z hydraulického hlediska je proudění otvorem mostu, vyznačujícím se bočním zúžením analogické proudění na přepadu přes širokou korunu.

Vtokový průřez mostu je zatopen dolní vodou jestliže je hloubka dolní vody $y_D > \kappa E$

kde E je měrná energie průřezu v profilu před mostem, κ je součinitel



K řešení se použije Bernoulliho rovnice pro průřez před mostem a za mostním otvorem:

$$E = y_\sigma + \frac{\alpha v_\sigma^2}{2g} + \zeta \frac{v_\sigma^2}{2g} = y_\sigma + (\alpha + \zeta) \frac{v_\sigma^2}{2g} = y_\sigma + \frac{Q^2}{2g \varphi^2 S_\sigma^2}$$

kde

φ ... rychlostní součinitel
E ... energetická výška před mostem

$$E = y + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

v_0 ... přítoková rychlost vody před mostním otvorem, kde je hloubka y

Pro průběžné dno ($s_d = 0$) dostaneme:

$$Q = \varphi . S_d \sqrt{2g(E - y_d)}$$

a pro dno s prahem:

$$Q = \varphi . S_\sigma \sqrt{2g(E - y_\sigma)}$$

kde

φ je rychlostní součinitel, y_σ - je hloubka vody nad prahem pod mostem ($y_\sigma = y_d - s_d$), kde s_d je výška koruny prahu na dolním dnem).
Vzdutí způsobené mostem je dáno vztahem

$$\Delta H = y - y_h = E - \frac{\alpha v_0^2}{2g} - y_h$$

kde

$$E = \frac{Q^2}{2g\varphi^2 S_d^2} + y_d$$

y_h ... je původní (nevzdutá) hloubka před mostem (většinou $y_h = y_d = y_0$)
v_0 ... přítoková rychlost stanovená při hloubce vody y.

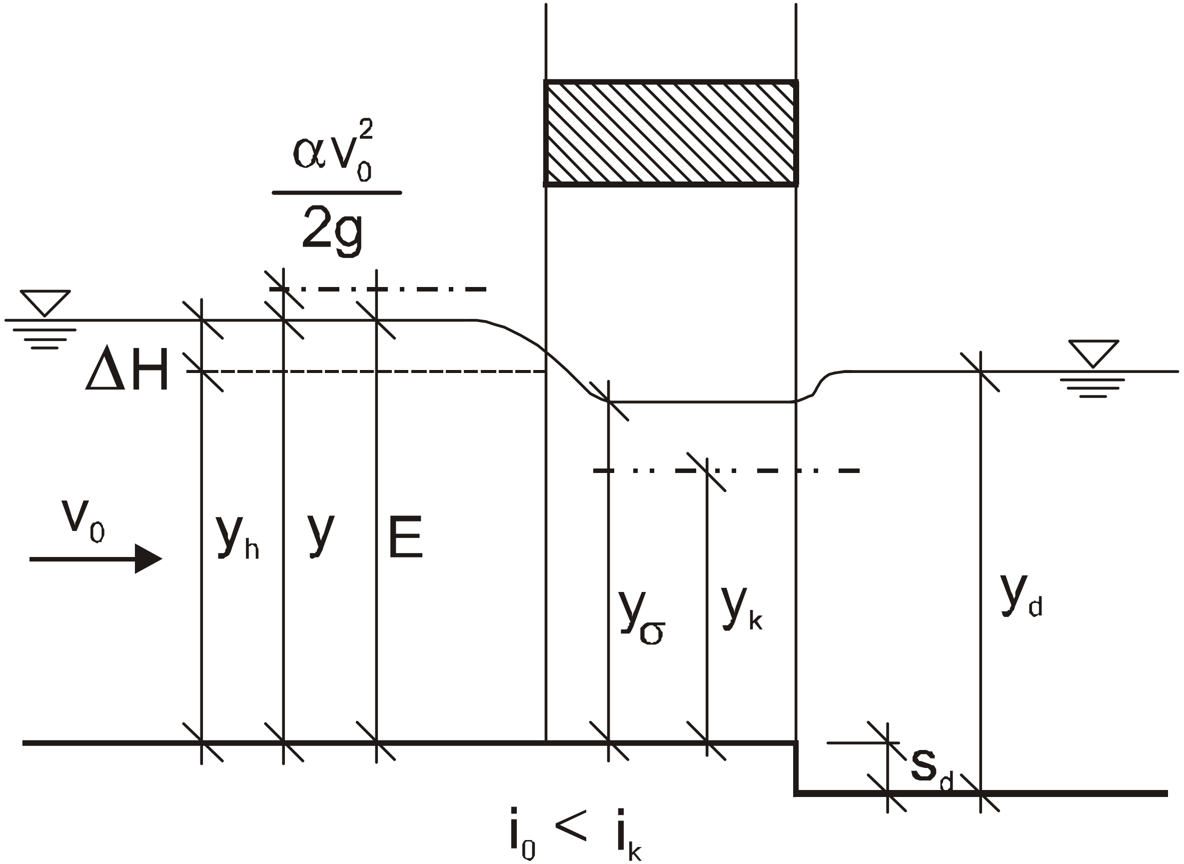
Součinitelé pro výpočet mostů

Typ	Plynulé boční připojení			Boční křídla zaoblená			Boční křídla šikmá			Boční křídla pravoúhlá		
	φ	κ	m	φ	κ	m	φ	κ	m	φ	κ	m
A	0,96	0,72	0,36	0,95	0,73	0,36	0,95	0,74	0,36	0,94	0,75	0,35
B	0,94	0,75	0,35	0,93	0,76	0,35	0,92	0,78	0,34	0,91	0,79	0,33
C	0,91	0,79	0,33	0,90	0,81	0,32	0,88	0,83	0,30	0,87	0,85	0,28
D	0,90	0,81	0,32	0,88	0,83	0,30	0,87	0,85	0,29	0,86	0,87	0,27
E	0,85	0,88	0,26	0,83	0,91	0,23	0,81	0,93	0,20	0,79	0,95	0,16

TYP:
A - Dno mostu je v úrovni dna přítokového koryta
B - Ve dně mostu je práh se zaoblenou vstupní hranou
C - Ve dně mostu je práh se skosenou vstupní hranou
D - Ve dně mostu je práh s pravoúhlou vstupní hranou
E - Ve dně mostu je práh s pravoúhlou vstupní hranou (nepříznivé podmínky, nerovný povrch)

Vtokový průřez mostu není ovlivněn dolní vodou, když pro hloubku dolní vody y_d resp. y_σ (most s prahem) platí:

$$y_D < \kappa E \quad \text{resp.} \quad y_\sigma < \kappa E$$



Říční proudění pod mostem s nezatopeným vtokem

Postup výpočtu vzdutí je stejný jako u předchozího případu. Jestliže se má pro zadanou vzdutou hloubku vypočítat průtok mostním otvorem, platí

$$Q = \varphi . S_\sigma \sqrt{2g(E - y_\sigma)}$$

Velice často se používá rovnice pro dokonalý přepad přes širokou korunu:

$$Q = \frac{2}{3}\mu_P b \sqrt{2g}\, E^{\frac{3}{2}}$$

Příklad

Upraveným korytem vodního toku lichoběžníkového příčného průřezu s šířkou ve dně b_k = 5 m, sklonem svahů 1:2, protéká průtok Q = 40 m^3s^{-1} hloubkou y = 3 m . Jaké vzdutí způsobí most světlosti 7 m, jestliže boční křídla jsou pravoúhlá. Předpokládáme nedokonalý přepad.

Podle rovnice

$$E = \frac{Q^2}{2g\varphi^2 S_D^2} + y_D = \frac{40^2}{19{,}62.0{,}86^2.7^2.3^2} + 3 = 3{,}25\,m$$

ověříme předpoklad zatopení mostního otvoru

$$\kappa . E = 0{,}6 \, . \, 3{,}25 = 1{,}95 < 3 \, m$$

Předpoklad ovlivněného vtoku dolní vodou byl splněn.
Hloubku před mostem určíme zkusmo. Zvolíme y = 3,19 m. Při této hloubce je

$$S_0 = (5 + 2 \, . \, 3{,}19) \, . \, 3{,}19 = 39{,}3 \, m^2$$

potom

$$v_0 = \frac{Q}{S_0} = \frac{40}{36{,}3} = 1{,}10 \, m \, s^{-1} \Rightarrow E = y_0 + \frac{v_0^2}{2g} = 3{,}19 + \frac{1{,}10^2}{19{,}62} = 3{,}25 m$$

Což odpovídá dřívější hodnotě.

Vzdutí mostem vypočteme:

$$\Delta H = y - y_h = E - \frac{\alpha \, v_0^2}{2 \, g} - y_h = 3{,}25 - \frac{1{,}1^2}{19{,}62} - 3 = 3{,}25 - 0{,}06 - 3 = 0{,}19 m$$

Vzdutí mostem bude 0,19 m.

PROPUSTKY

Propustky jsou malé objekty do průměru cca 2 m, pomocí nichž se přemisťuje určité množství vody (potok, řeka) pod nějakou překážkou např. křížení se silničním nebo železničním tělesem.

Nejčastější typy propustků:

deskové (obdélníkové a čtvercové profily)

kruhové

Proudění v propustcích je poměrně složitý jev zahrnující nerovnoměrné proudění s různými tvary hladin (může rovněž docházet ke změně režimu proudění z bystřinného do říčního vodním skokem, kombinaci tlakového proudění a s prouděním s volnou hladinou a jiné hydraulické jevy).

Hydraulický výpočet obsahuje:

- návrh rozměrů propustku (šířky, výšky, průměr)
- posouzení kapacity - průtočnosti
- posouzení tvaru hladiny v propustku
- výpočet hloubky y, resp. vzdutí ΔH před propustkem

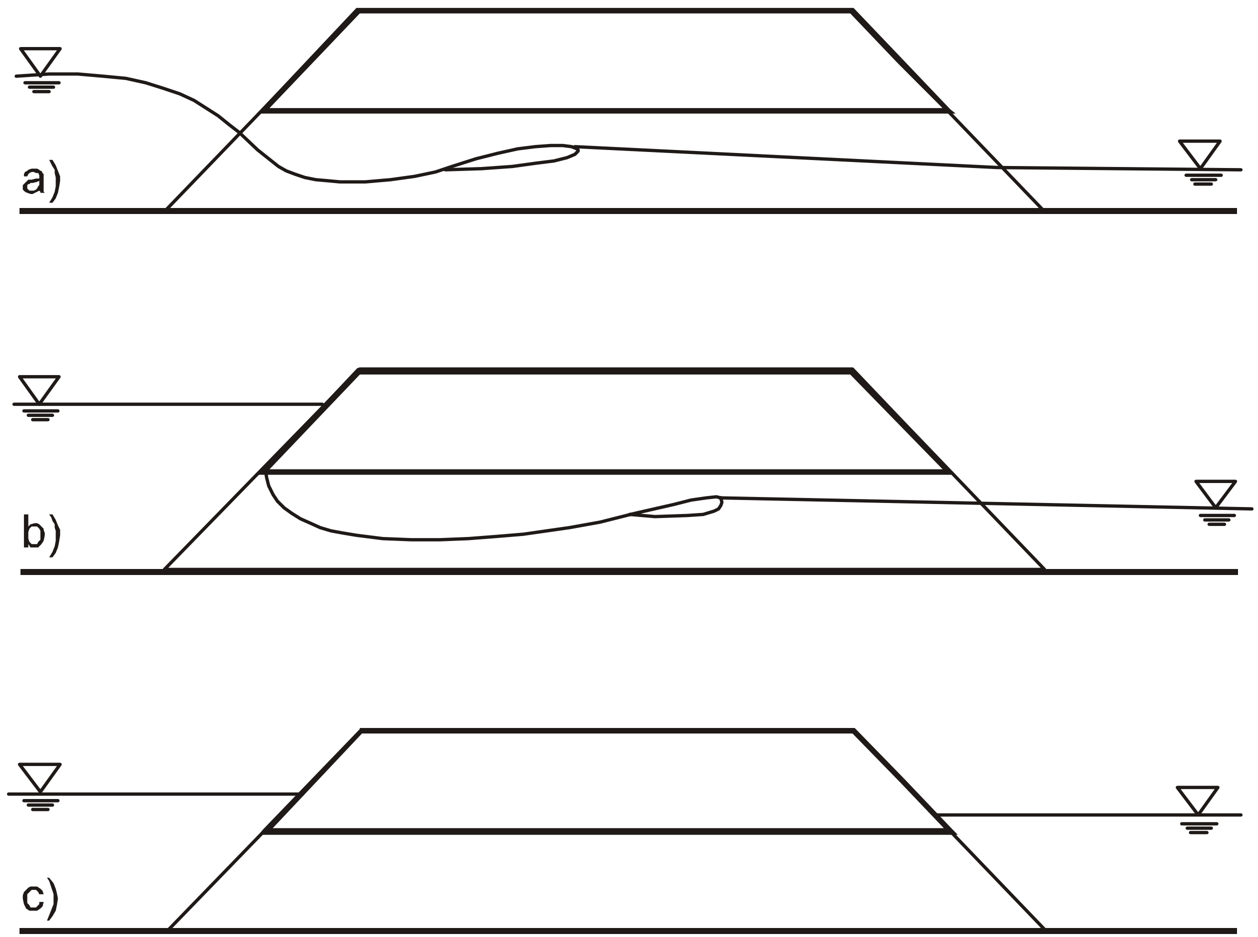
Často je požadováno určení průběhu hladiny v propustku, před nebo za propustkem.

Z hydraulického hlediska dělíme propustky na:

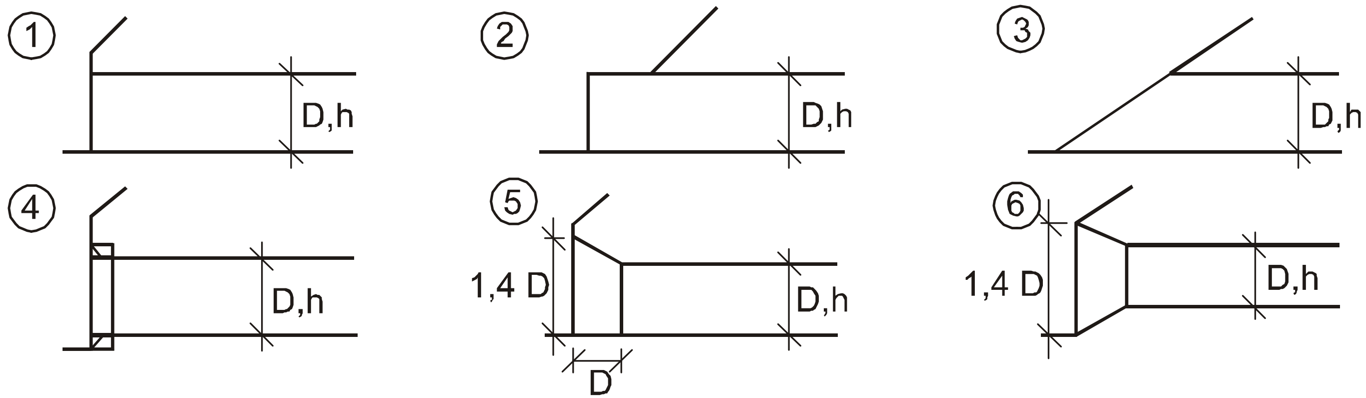
a) s volným vtokem - volná hladina po celé délce propustku, včetně vtoku a výtoku,

b) se zahlceným vtokem a pokračující volnou hladinou

c) tlakové - tlakový režim proudění po celé délce.

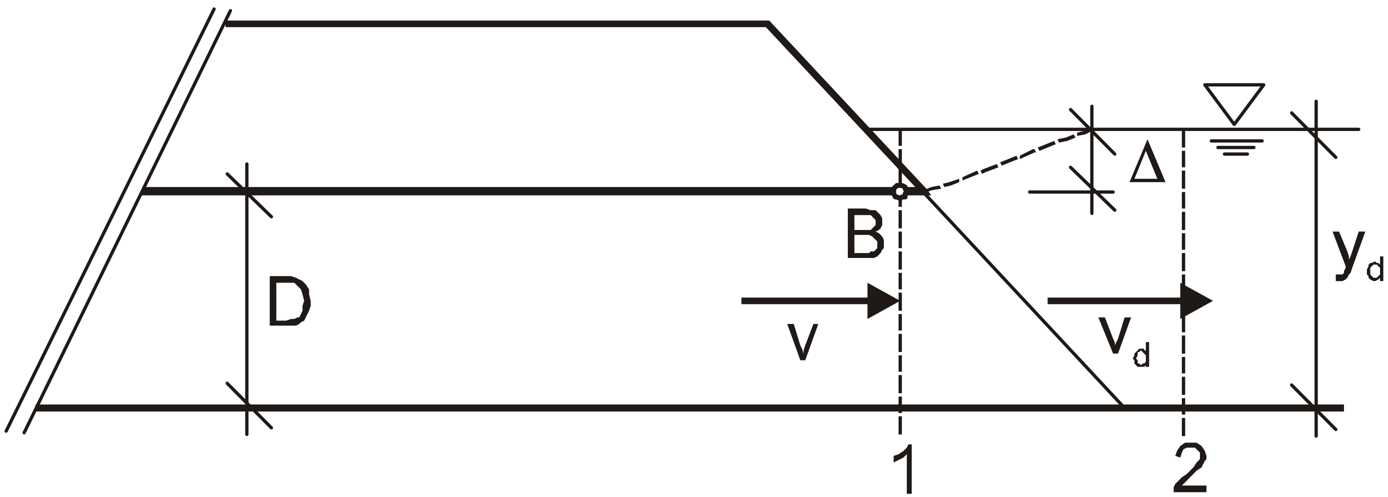


Proudění v propustku je závislé na tvaru vtoku. Nejčastěji se vyskytující tvary vtoku:



Součinitelé potřebné k hydraulickým výpočtům:

Typ vtoku	Součinitel			
	ztráty vtokem ζ	rychlostní φ	svislé kontrakce κ	zatopení vtoku β
Typ 1	0,40 - 0,50	0,85 - 0,82	0,90	1,20 - 1,16
Typ 2	0,80 - 0,90	0,75 - 0,73	0,86	1,09 - 1,08
Typ 3	0,70 - 0,80	0,77 - 0,75	0,87	1,10 - 1,09
Typ 4	0,05 - 0,10	0,98 - 0,95	0,97	1,45 - 1,40
Typ 5	0,10 - 0,15	0,95 - 0,93	0,95	1,40 - 1,33
Typ 6	0,30 - 0,40	0,88 - 0,85	0,94	1,40 - 1,36



Vtok je volný, jestliže platí:

$\beta D \geq y$

Jinak uvažujeme vtok jako zatopený.

Zatopení výtoku dolní vodou se odvodí z Bernoulliho rovnice pro průřezy (1) a (2), zvolíme-li geodetický horizont v bodě B

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \Delta + \frac{v_d^2}{2g} + \frac{(v - v_d)^2}{2g}$$

ve vrcholu musí být $\frac{p_1}{\rho g} = 0$, neboť při tlaku menším než je tlak atmosférický by se vzduch dostal do potrubí. Podmínka zatopeného výtoku potom z předcházející rovnice je:

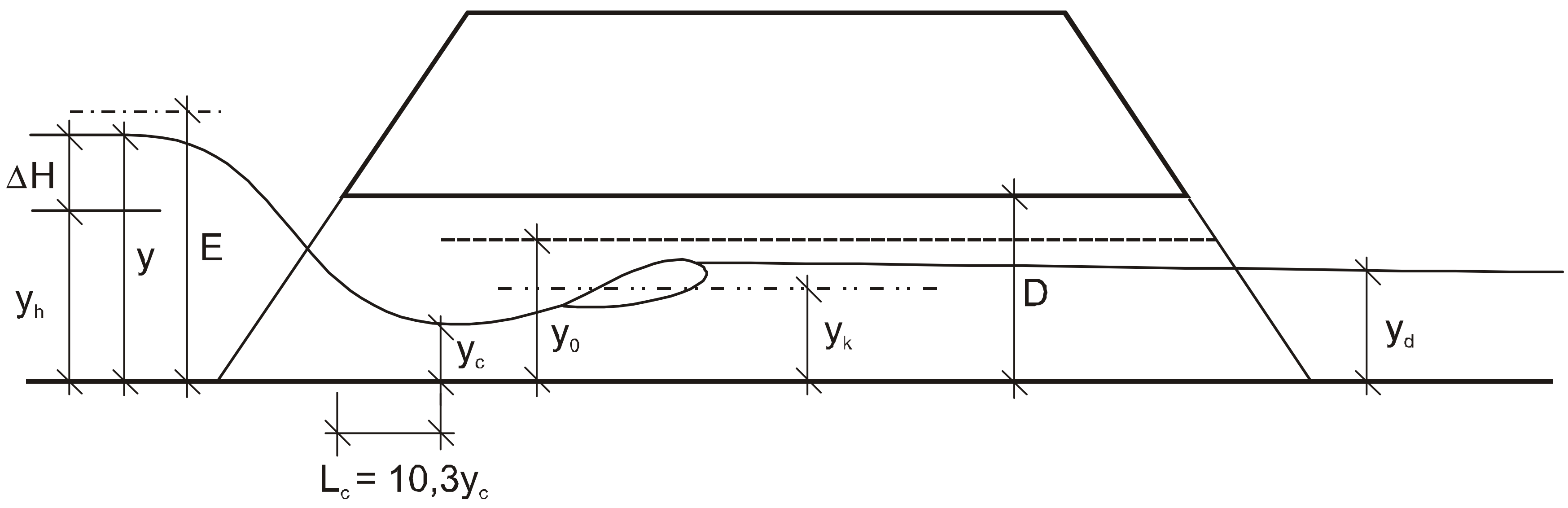
$$y_d - D = \Delta \geq \frac{v_d (v - v_d)}{g}$$

Propustky s volnou hladinou, volným vtokem i výtokem

Obecný postup při hydraulickém výpočtu propustku je založen na Bernoulliho rovnici pro vzdutou hloubku před propustkem y a pro zúženou hloubku y_C za vtokem.

a) Zúžený průřez za vtokem není ovlivněn dolní vodou (hladinou vody v korytě za propustkem).
Je nutno prokázat, že zadaný průtok je menší než průtok kapacitní ($Q_Z < Q_D$)
Kapacitní průtok určíme z Manningovy rovnice

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S \sqrt{i_0}$$



Bernoulliho rovnice se napíše pro průřez před propustkem s hloubkou y a za vtokem v nejužším místě, kde je hloubka y_c.

$$y + \frac{v_0^2}{2g} = E = y_c + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 S_c^2}$$

kde S_C - je plocha průtočného průřezu v nejužším místě za vtokem s hloubkou y_c.
Hloubku y_C určíme jako část kritické hloubky.

$$y_c = \kappa y_k$$

κ ... pro první přiblížení lze uvažovat hodnotu 0,9 - přesnější hodnoty jsou uvedeny v tabulce
y_k ... kritická hloubka – určí se buď ze vztahů pro kruhové průřezy propustků, nebo ze vztahů pro určení kritické hloubky pro libovolný profil (např. $S^3/B = (\alpha Q^2/g)$)

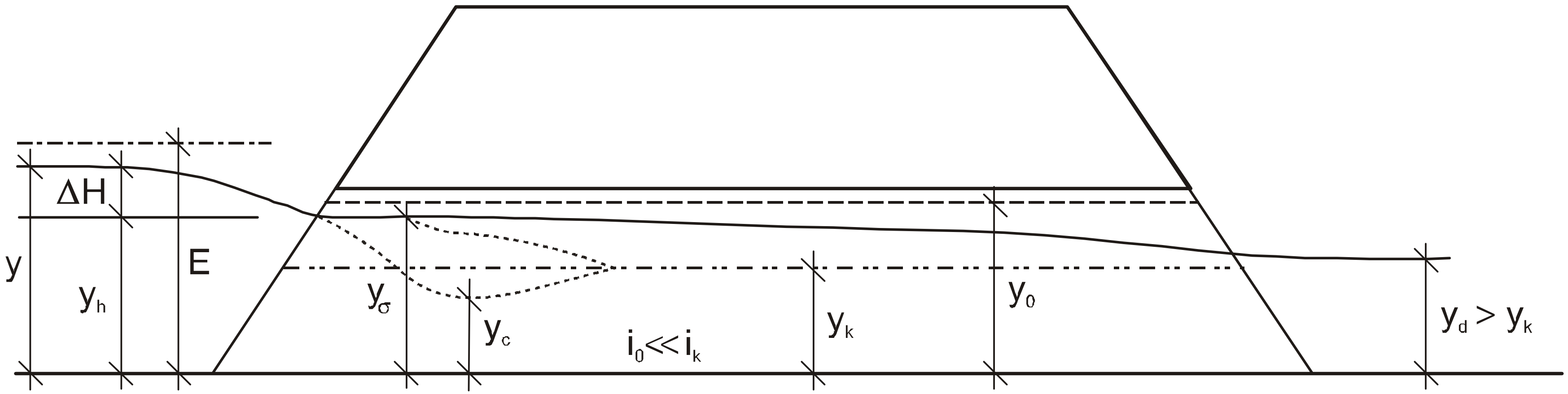
Vzdutí před propustkem určíme ze vztahu

$$\Delta H = y - y_h$$

kde y_h je původní nevzdutá hloubka před propustkem.
Patočka uvádí pro průměr kruhových propustků z betonových rour pro dimenzování vztah

$$D_{MIN} = 0{,}846\, Q^{0{,}4}$$

b) **Zúžený průřez za vtokem je ovlivněn dolní vodou** (hladinou vody v korytě za propustkem)



Je-li pro kruhové propustky $y > 1{,}25y_k$ a pro obdélníkové propustky $y > 1{,}1y_k$, potom uvažujeme ovlivnění hloubky y_c dolní vodou a musíme v Bernoulliho rovnici brát druhý průřez s hloubkou y_σ.

$$y + \frac{v_0^2}{2g} = E = y_\sigma + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 S_\sigma^2}$$

kde y_σ resp. S_σ jsou hloubka resp. plocha průtočného průřezu v oblasti za vtokem.

Propustky se zahlceným vtokem

Zúžený průřez za vtokem můžeme vyjádřit pro kruhový průřez rovnicemi

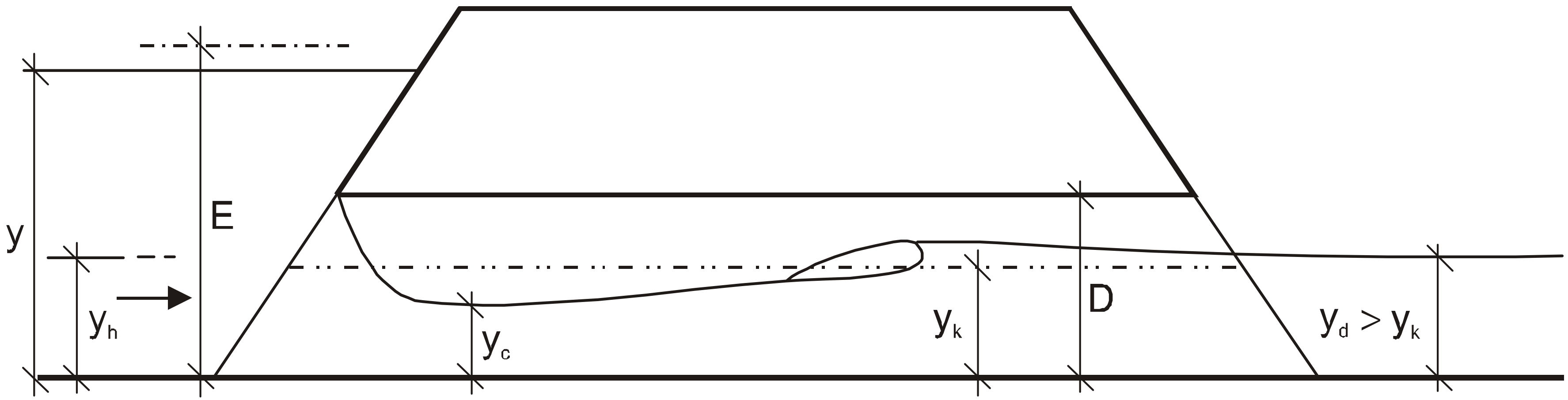
$$y_c = 0{,}6D; \; S_c = 0{,}62S$$

a pro obdélníkový průřez

$$y_c = 0{,}62H; \; S_c = 0{,}62S$$

Opět mohou nastat dva případy:

a) Zúžený průřez s hloubkou y_c není zatopen dolní vodou.



Propustek s volnou hladinou, zatopeným vtokem a volným výtokem

Návrh průměru D, propustku se zatopeným vtokem je možné vypočítat z rovnice

$$D = 0{,}785 . \left[\frac{Q^2}{a - 0{,}6} \right]^{\frac{1}{5}}$$

kde a = y/D a volí se v rozmezí 1,4 - 2

Potom průtok v tomto průřezu je

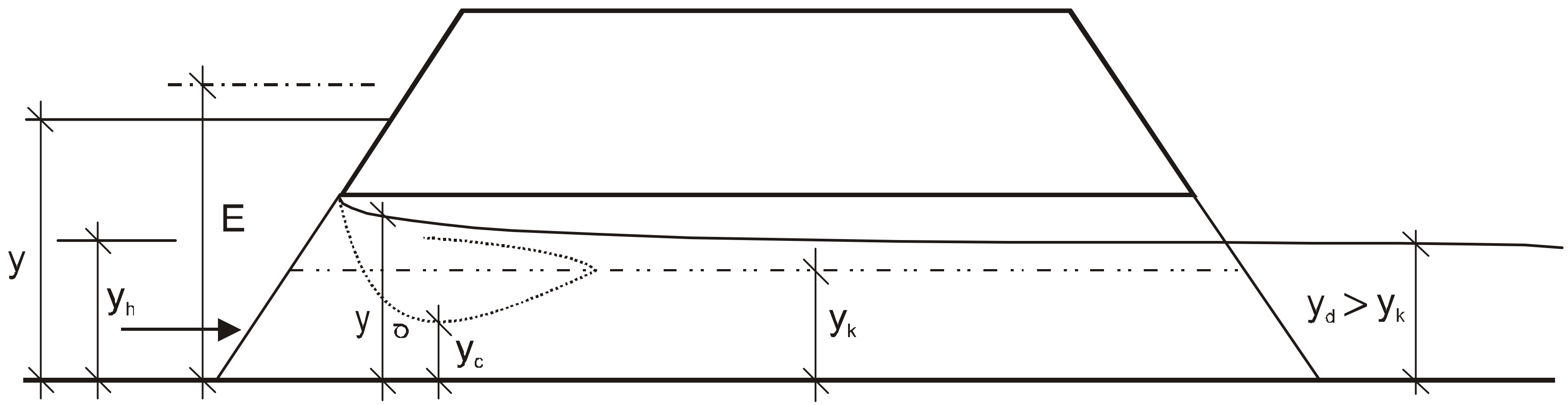
$$Q = \varphi S_c \sqrt{2 g (E - y_c)}$$

b) **Zúžený průřez za vtokem je zdola zatopený** (ovlivněn dolní vodou)
Tento případ nastane pokud $y_d > y_k$.
Při výpočtu postupujeme od výtokového průřezu, kde $y_V = y_D$ směrem ke vtoku. Řešíme průběh hladiny při nerovnoměrném proudění metodou po úsecích a pod. a jako výsledek dostaneme zatopenou hloubku y_σ. Dále již můžeme použít rovnici ve tvaru

$$y + \frac{v_0^2}{2g} = E = y_\sigma + \frac{Q^2}{2 g \varphi^2 S_\sigma^2}$$

nebo

$$Q = \varphi S_\sigma \sqrt{2g(E - y_\sigma)}$$



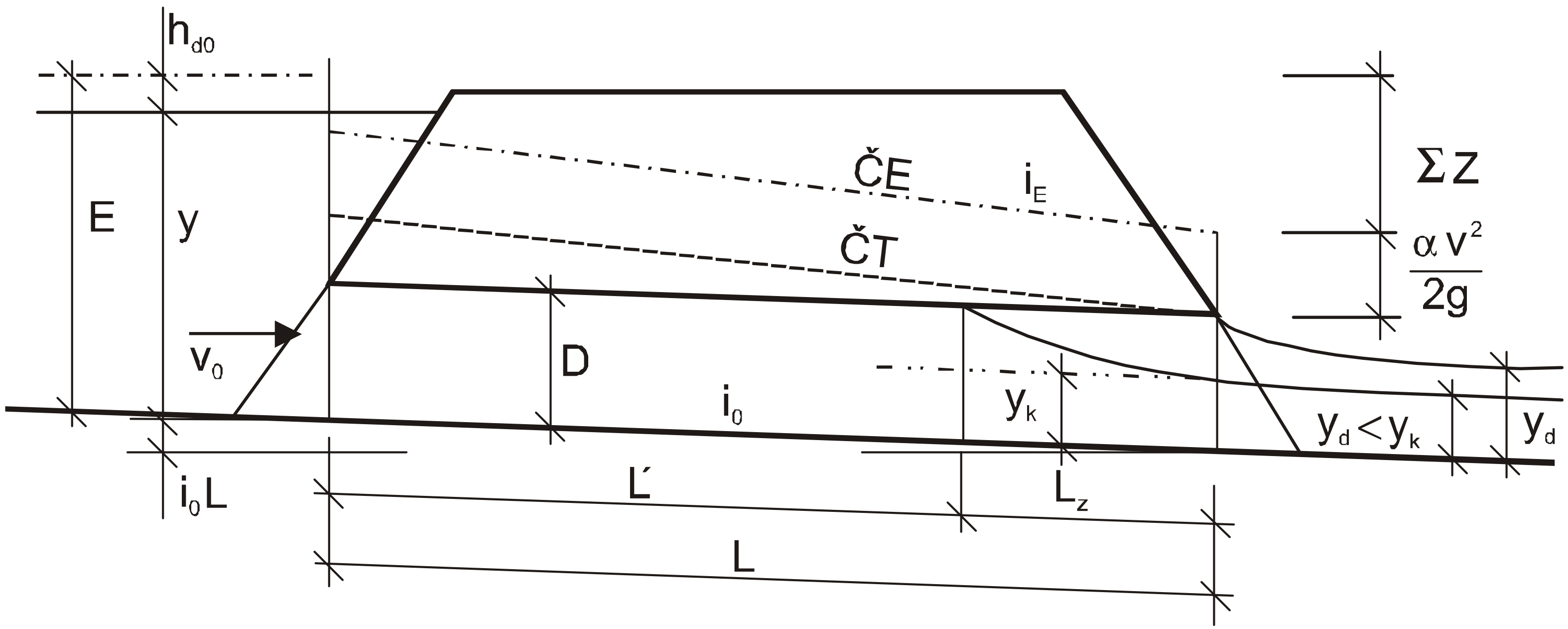
Ovlivnění zatopeného vtoku dolní vodou

Tlakové propustky

Podmínka vzniku tlakového režimu je, že platí nerovnost Q > Q_D (průtok je větší než kapacitní průtok) tj. průtok v propustku je větší než průtok při úplně zaplněném průřezu za předpokladu beztlakového režimu, který určíme z Chézyho rovnice (pro kruhový průřez)

$$Q = C.S\sqrt{R.i_0} = \frac{0{,}312}{n} D^{\frac{8}{3}} \sqrt{i_0}$$

a) Výtok z propustku není zatopený dolní vodou



Propustek za těchto podmínek řešíme jako krátké potrubí a z Bernoulliho rovnice obecně platí

$$E = (i_E - i_0)L + (1 + \zeta)\frac{v^2}{2g} + D$$

Sklon čáry energie je

$$i_E = \lambda \frac{L}{D}\frac{v^2}{2g}$$

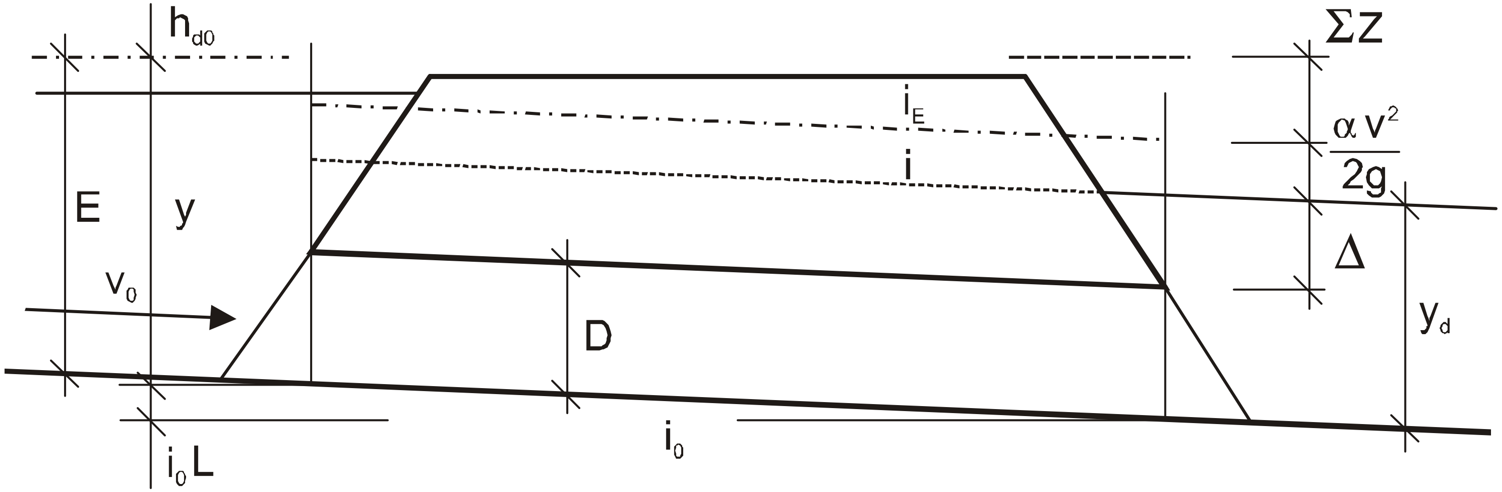
kde
λ ... je součinitel ztrát třením
ζ ... součinitel ztráty vtokem
Rovnice pak bude mít tvar

$$E = (1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D})\frac{v^2}{2g} + D - i_0 L$$

Průtok propustkem potom je (pro y = E)

$$Q = S\sqrt{2.g}\sqrt{\frac{y - D + i_0.L}{1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}}}$$

b) **Výtok z propustku je zatopený dolní vodou**



Propustek řešíme jako krátké potrubí, pro které z Bernoulliho rovnice vyplývá

$$E = \left(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g} - i_0 . L + y_d - \frac{v_d (v - v_d)}{g}$$

Pro přibližné výpočty uvažujeme $E \cong y$

Průtok tlakovým propustem se zatopeným výtokem je

$$Q = S \sqrt{2 . g} \sqrt{\frac{y - y_D + i_0 . L + \Delta_{MIN}}{1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}}}$$

kde

$$\Delta_{MIN} = \frac{v_D (v - v_D)}{g}$$

Příklad

Navrhněte rozměry propustku, jehož kapacita za předpokladu nezahlceného vtoku má být Q = 2,3 $m^3 .s^{-1}$ a původní hloubka vody v korytě před a za propustkem je $y_h = y_d$ = 0,8 m.
Vtok do propustku je typu 1.

Řešení:

Propustek navrhneme ze železobetonových rour kruhového průřezu. K nadimenzování použijeme vztah (10.3.5)
$D_{min} = 0{,}846.Q^{0.4} = 0{,}846 \;.\; 2{,}3^{0,4} = 1{,}18$ m
Navrhneme nejbližší průměr D = 120 cm.
Následně posoudíme vzdutí způsobené propustkem. Kritická hloubka určená pomocí závislosti $S^3/B = (\alpha Q^2)/g$ je y_k = 0,84 m
Hloubka v zúženém průřezu je podle (10.1.4)
$y_c = \kappa y_k = 0{,}9.0{,}84 = 0{,}756$ m
Průtočná plocha $S_c = 0{,}75\ m^2$
Rychlost v zůženém průřezu je
$v_c = Q/S_c = 1{,}2/0{,}75 = 1{,}6\ m.s^{-1}$
Specifická energie

$$E = y_c + \frac{v_c^2}{2g} = 0{,}756 + \frac{1{,}6^2}{2.9{,}81} = 0{,}89\,m$$

Za předpokladu $\frac{v_c^2}{2g} = 0$ bude hloubka vody před propustkem y = 0,89 m a vzdutí které způsobí, je $\Delta H = y - y_h$ = 0,89 - 0,80 = 0,09 m.
Ještě navrhneme minimální sklon, při kterém bude zaručená volná hladina v propustku z podmínky $Q < Q_D$

$$i_{D,min} = \frac{Q^2}{576.D^{\frac{16}{3}}} = \frac{2{,}3^2}{576.1{,}2^{\frac{16}{3}}} = 3{,}5.10^{-3} = 0{,}0035$$

Hladina vody za propustkem nemá vliv na průtočnost, neboť $y_d < y_k$; 0,8 m < 0,84 m.