


# VDN – ZABEZPEČENÍ OBJEKTU

## SO 02 – ČESLE

### VÝPOČET VZDUTÍ

Vypracoval:  Ing. J. Jirásek  
Datum: 07/2019, aktualizace 08/2019

## OBSAH

|  |   |
|--|---|
| 1. ÚVOD.....   | 1 |
| 2. ČESLE .....   | 1 |
| 3. VÝPOČET VÝŠKY HLADINY V KORYTĚ POD VÝVAREM (LIMNIGRAF NECHRANICE).....                | 2 |
| a) odtok od MVE ve výši $2 \times 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .....              | 3 |
| b) odtok od spodních výpustí ve výši $1 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ..... | 4 |
| c) odtok od spodních výpustí ve výši $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ..... | 4 |
| 4. STANOVENÍ VÝŠKY HLADINY A PRŮŘEZOVÉ RYCHLOSTI V ODPADNÍ ŠTOLE .....                   | 5 |
| a) odtok od MVE ve výši $2 \times 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .....              | 6 |
| b) odtok od spodních výpustí ve výši $1 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ..... | 6 |
| c) odtok od spodních výpustí ve výši $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ..... | 7 |
| 5. VÝPOČET VÝŠKY VZDUTÍ HLADINY.....   | 8 |
| 5.1 Hydraulické ztráty od česlic.....  | 8 |
| 5.2 Hydraulické ztráty od podélné výztuhy.....   | 8 |
| 5.3 Celková hydraulická ztráta .....   | 9 |
| 6. SOUHRN.....   | 9 |

## **1. ÚVOD**

Předmětem hydrotechnických výpočtů je stanovení výšky vzdutí v odpadní štolě VD Nechanice způsobené instalací nově navržených česlí na výtoku ze štoly.

Původní posouzení vlivu česlí na výšku hladiny v odpadní štolě při průtoku  $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bylo po konzultaci s Odborem vodohospodářského dispečinku Povodí Ohře, s.p., rozšířeno o dvě situace. Nově jsou posuzovány tyto stavy:

- a) odtok od MVE ve výši  $2 \times 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , celkem  $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , odtok od obou výpustí celou štolou
- b) odtok od spodních výpustí ve výši  $1 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , odtok od jedné výpusti jednou polovinou štoly
- c) odtok od spodních výpustí ve výši  $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , celkem  $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , odtok od obou výpustí celou štolou

Výpočet vzdutí se odvíjí od výšky hladiny v korytě v profilu limnigrafu pod vývarem a jí způsobeným zatopením štoly při uvedených průtocích. Výška hladiny v korytě, resp. zatopení štoly, je dolní okrajovou podmínkou výpočtu. Zjištěná výška hladiny v korytě je promítnuta do odpadní štoly pro stanovení průřezové rychlosti v profilu česlí, která je vstupní hodnotou pro výpočet vzdutí.

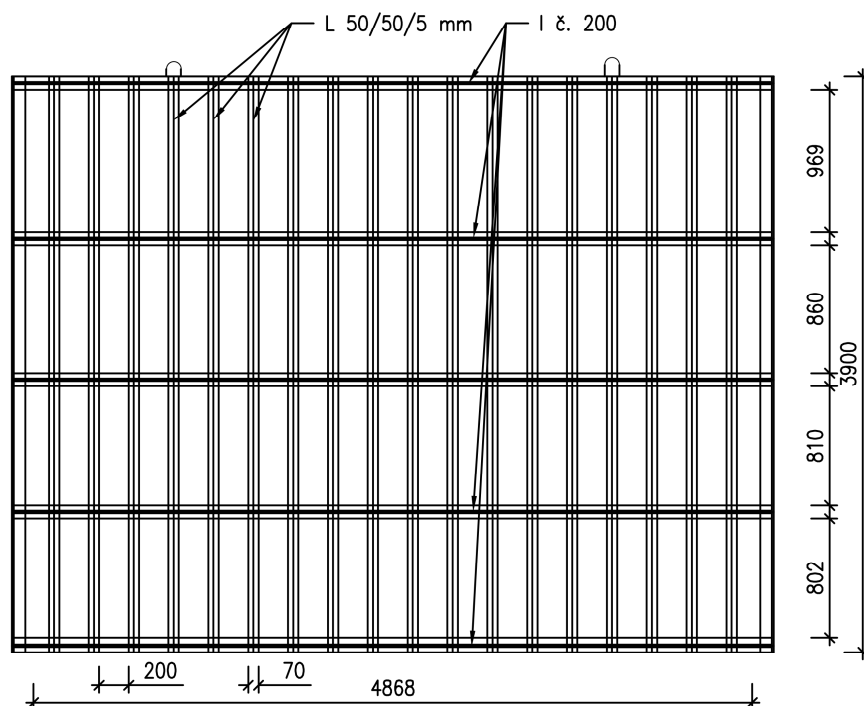
Podkladem pro výpočet byly podélný a příčný řez odpadní štolou, příčný řez korytem v profilu limnigrafu Nechanice, výkres česlí, statický posudek a fotodokumentace.

## **2. ČESLE**

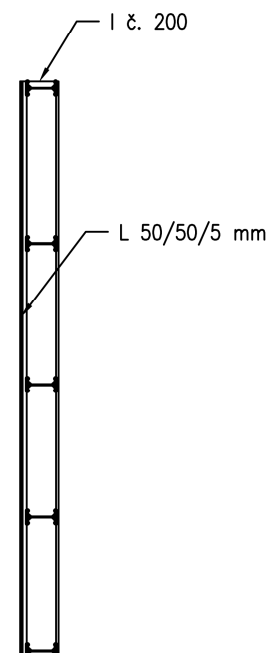
Nosnou konstrukci česlí tvoří vodorovné ocelové nosníky I č. 200, k nimž jsou přivařeny svislé prvky česlí úhelníky 50/50/5 mm. Vodorovné nosníky I č. 200 jsou přivařeny ke svislým nosníkům U č. 260. Česle budou zasunuty do stávající svislé drážky 300x200 mm olemované úhelníky 120/120/10 mm. Nosné ocelové konstrukce česlí jsou navrženy na tlak vody na celou plochu česlí.

ČESLE

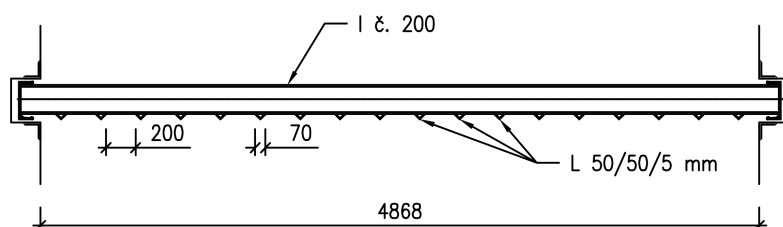
POHLED



PŘÍČNÝ ŘEZ



PŮDORYS



Obr. 1 – Detail česlí.

### 3. VÝPOČET VÝŠKY HLADINY V KORYTĚ POD VÝVAREM (LIMNIGRAF NECHRANICE)

Výpočet výšky hladiny byl proveden pomocí rovnice kontinuity a Chézyho rovnice s rychlostním součinitelem dle Manninga. Výpočet je postupně proveden pro jednotlivé odtoky (stavy).

**Rovnice kontinuity a Chézyho rovnice**

$$Q = v \cdot S$$

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0}$$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

kde:  $Q$  je průtok vody ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $S$  – průtočná plocha ( $\text{m}^2$ )  
 $v$  – průřezová rychlost ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $C$  – rychlostní součinitel ( $\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 $R$  – hydraulický poloměr (m)  
 $i_0$  – sklon dna (-)  
 $n$  – Manningův drsnostní součinitel ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ )

**a) odtok od MVE ve výši  $2 \times 16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$**

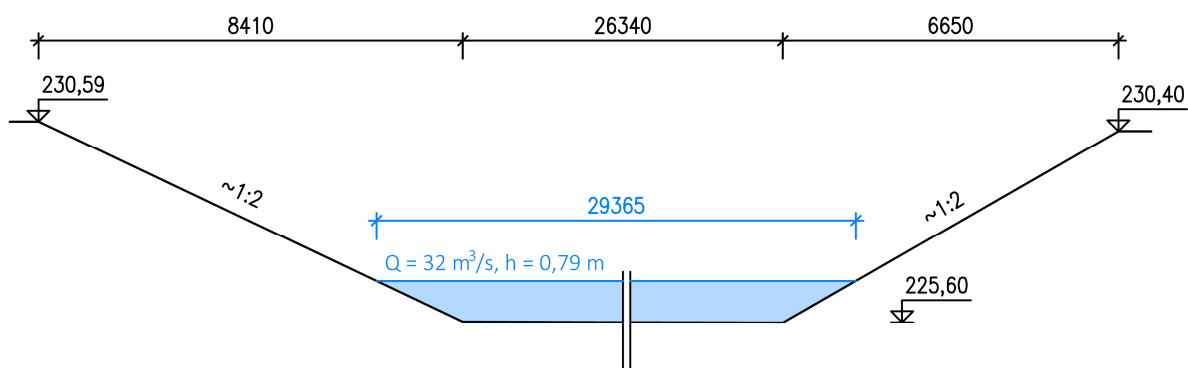
**Vstupní parametry**

- šířka dna 26,30 m
- sklon L břehu 1:m 2,10
- sklon P břehu 1:m 1,75
- sklon dna 0,001 (-)
- drsnostní součinitel  $n$  0,018 ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ )
- průtok  $32,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Výpočet je tabelárně sestaven v následující tabulce:

| <b>h</b><br><b>(m)</b> | <b>B</b><br><b>(m)</b> | <b>S</b><br><b>(m<sup>2</sup>)</b> | <b>O</b><br><b>(m)</b> | <b>R</b><br><b>(m)</b> | <b>C</b><br><b>(m<sup>1/2</sup>·s<sup>-1</sup>)</b> | <b>Fr</b><br><b>(-)</b> | <b>v</b><br><b>(m·s<sup>-1</sup>)</b> | <b>Q</b><br><b>(m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>)</b> |              |
|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|---|-------------------------|---------------------------------------|---|--------------|
| 0.500                  | 28.269                 | 14.134                             | 28.514                 | 0.496                  | 49.423  | 0.480                   | 1.100                                 | 15.552  |              |
| 0.600                  | 28.655                 | 16.961                             | 28.949                 | 0.586                  | 50.820  | 0.489                   | 1.230                                 | 20.864  |              |
| 0.700                  | 29.040                 | 19.788                             | 29.384                 | 0.673                  | 52.013  | 0.497                   | 1.350                                 | 26.709  |              |
| 0.800                  | 29.426                 | 22.615                             | 29.819                 | 0.758                  | 53.053  | 0.503                   | 1.461                                 | 33.042  |              |
| <b>0.784</b>           | <b>29.365</b>          | <b>22.164</b>                      | <b>29.749</b>          | <b>0.745</b>           | <b>52.896</b>                                       | <b>0.503</b>            | <b>1.444</b>                          | <b>32.001</b>                                     | <b>shoda</b> |

**LIMNIGRAF NECHRANICE**



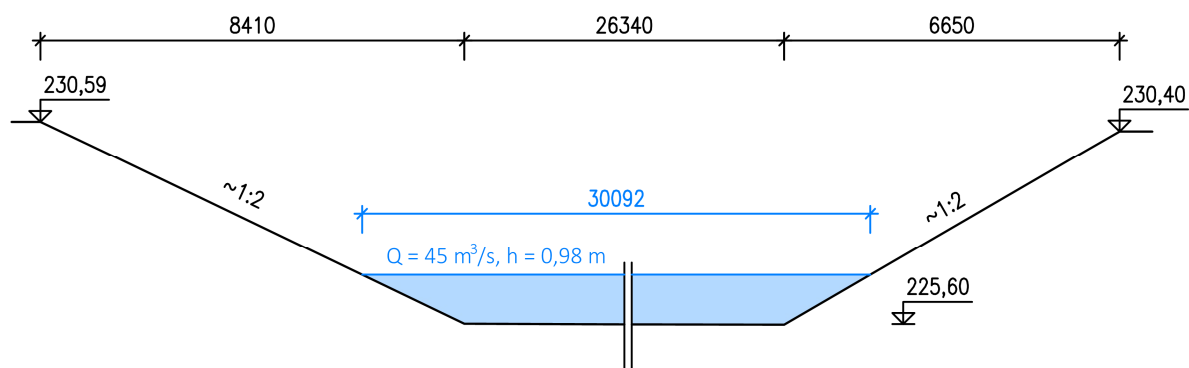
Obr. 2 – Výška hladiny v profilu limnigrafu při průtoku  $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**b) odtok od spodních výpustí ve výši  $1 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** **Vstupní parametry**

- šířka dna 26,30 m
- sklon L břehu 1:m 2,10
- sklon P břehu 1:m 1,75
- sklon dna 0,001 (-)
- drsnostní součinitel n 0,018 ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ )
- průtok  $45,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Výpočet je tabelárně sestaven v následující tabulce:

| h<br>(m)     | B<br>(m)      | S<br>( $\text{m}^2$ ) | O<br>(m)      | R<br>(m)     | C<br>( $\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Fr<br>(-)    | v<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Q<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |              |
|--------------|---------------|-----------------------|---------------|--------------|---|--------------|---|---|--------------|
| 0.700        | 29.040        | 19.788                | 29.384        | 0.673        | 52.013  | 0.497        | 1.350                                   | 26.709                                    |              |
| 0.800        | 29.426        | 22.615                | 29.819        | 0.758        | 53.053  | 0.503        | 1.461                                   | 33.042                                    |              |
| 0.900        | 29.812        | 25.442                | 30.254        | 0.841        | 53.975  | 0.508        | 1.565                                   | 39.822                                    |              |
| 1.000        | 30.198        | 28.269                | 30.689        | 0.921        | 54.800  | 0.513        | 1.663                                   | 47.017                                    |              |
| <b>0.973</b> | <b>30.092</b> | <b>27.492</b>         | <b>30.569</b> | <b>0.899</b> | <b>54.582</b>                                 | <b>0.512</b> | <b>1.637</b>                            | <b>45.000</b>                             | <b>shoda</b> |

**LIMNIGRAF NECHRANICE**

Obr. 3 – Výška hladiny v profilu limnigrafu při průtoku  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

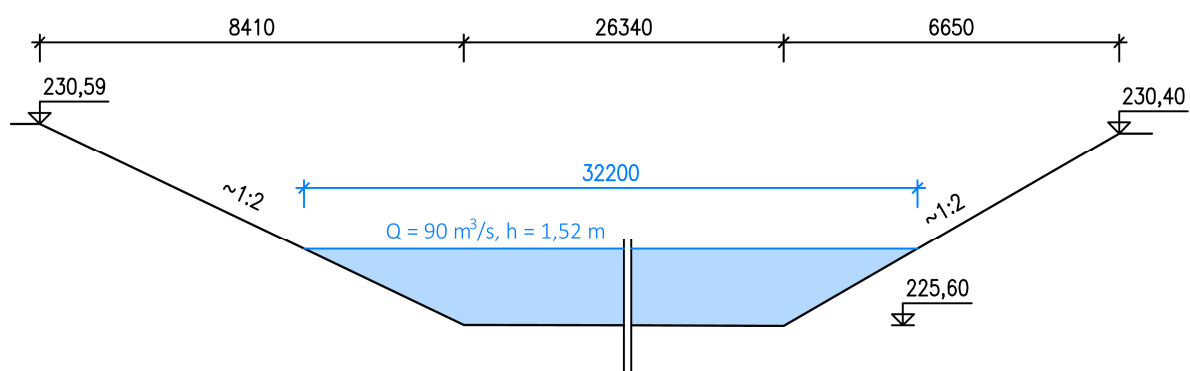
**c) odtok od spodních výpustí ve výši  $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** **Vstupní parametry**

- šířka dna 26,30 m
- sklon L břehu 1:m 2,10
- sklon P břehu 1:m 1,75
- sklon dna 0,001 (-)
- drsnostní součinitel n 0,018 ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ )
- průtok  $90,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Výpočet je tabelárně sestaven v následující tabulce:

| h<br>(m)     | B<br>(m)      | S<br>(m <sup>2</sup> ) | O<br>(m)      | R<br>(m)     | C<br>(m <sup>1/2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | Fr<br>(-)    | v<br>(m.s <sup>-1</sup> ) | Q<br>(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) |              |
|--------------|---------------|------------------------|---------------|--------------|---|--------------|---------------------------|---|--------------|
| 1.300        | 31.355        | 36.750                 | 31.993        | 1.149        | 56.854                                    | 0.521        | 1.927                     | 70.814                                  |              |
| 1.400        | 31.741        | 39.576                 | 32.428        | 1.220        | 57.431                                    | 0.523        | 2.006                     | 79.402                                  |              |
| 1.500        | 32.127        | 42.403                 | 32.863        | 1.290        | 57.966                                    | 0.524        | 2.082                     | 88.291                                  |              |
| 1.600        | 32.512        | 45.230                 | 33.298        | 1.358        | 58.465                                    | 0.525        | 2.155                     | 97.460                                  |              |
| <b>1.519</b> | <b>32.200</b> | <b>42.940</b>          | <b>32.945</b> | <b>1.303</b> | <b>58.064</b>                             | <b>0.524</b> | <b>2.096</b>              | <b>90.013</b>                           | <b>shoda</b> |

## LIMNIGRAF NECHRANICE



Obr. 4 – Výška hladiny v profilu limnigrafu při průtoku 90 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

## 4. STANOVENÍ VÝŠKY HLADINY A PRŮŘEZOVÉ RYCHLOSTI V ODPADNÍ ŠTOLE

Výška hladiny byla stanovena promítnutím hladiny vypočtené v předchozím kroku do profilu odpadní štol. Průřezová rychlost byla vypočtena pomocí upravené rovnice kontinuity.

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S}$$

kde: Q je průtok vody (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)

S – průtočná plocha (m<sup>2</sup>)

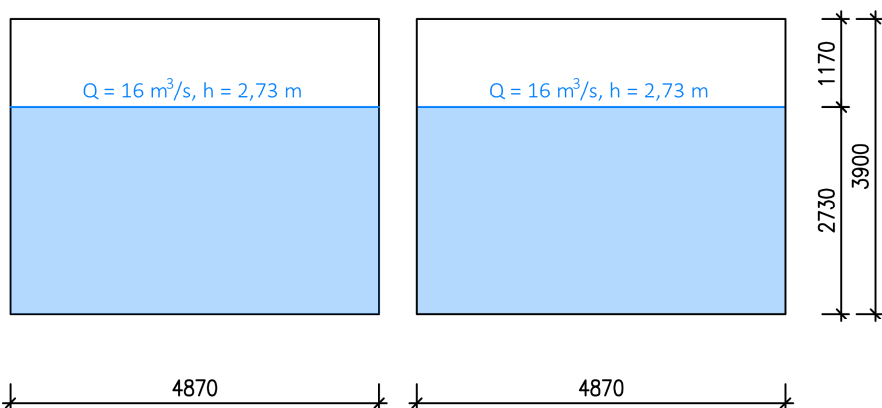
v – průřezová rychlost (m.s<sup>-1</sup>)

**a) odtok od MVE ve výši 2x 16 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>**

ODPADNÍ ŠTOLA

LEVÁ POLOVINA

PRAVÁ POLOVINA



Obr. 5 – Odpadní štola v místě instalace česlí s promítnutou hladinou při průtoku 2x 16 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

**PRŮŘEZOVÁ RYCHLOST**

**Vstupní parametry**

- šířka štoly 4,87 m
- výška hladiny 2,73 m
- průtok 16,00 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

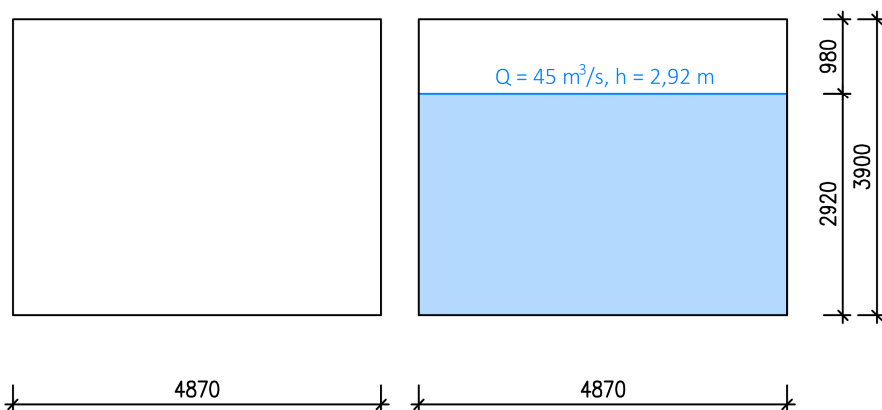
$$v = \frac{Q}{S} = \frac{16}{4,87 \cdot 2,73} = 1,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**b) odtok od spodních výpustí ve výši 1x 45 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>**

ODPADNÍ ŠTOLA

LEVÁ POLOVINA

PRAVÁ POLOVINA



Obr. 6 – Odpadní štola v místě instalace česlí s promítnutou hladinou při průtoku 1x 45 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.



## PRŮŘEZOVÁ RYCHLOST

### Vstupní parametry

- šířka štoly 4,87 m
- výška hladiny 2,92 m
- průtok  $45,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

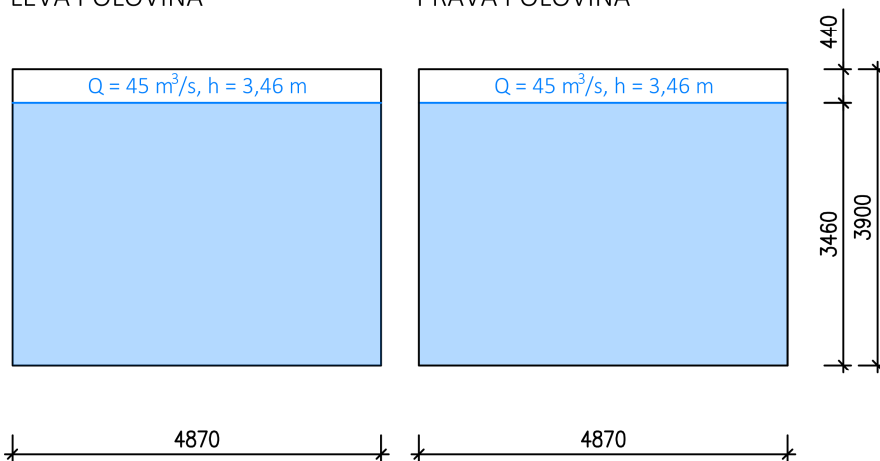
$$v = \frac{Q}{S} = \frac{45}{4,87 \cdot 2,92} = 3,16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### c) odtok od spodních výpustí ve výši $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

#### ODPADNÍ ŠTOLA

LEVÁ POLOVINA

PRAVÁ POLOVINA



Obr. 7 – Odpadní štola v místě instalace česlí s promítnutou hladinou při průtoku  $2 \times 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## PRŮŘEZOVÁ RYCHLOST

### Vstupní parametry

- šířka štoly 4,87 m
- výška hladiny 3,46 m
- průtok  $45,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{45}{4,87 \cdot 3,46} = 2,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

## 5. VÝPOČET VÝŠKY VZDUTÍ HLADINY

Výpočet celkové hydraulické ztráty způsobené vložením česlí do průtočného profilu je omezen na výpočet ztráty česlicemi a podélnými výztuhami. Ztráty způsobené rozdílnými rozměry vtoku na česle, výskytem dnového prahu, norné stěny a podpěrných prvků nejsou uvažovány. Naopak je přihlédnuto k podélným výztuhám, vodorovným nosníkům, l č. 200. Ztráta od těchto prvků konstrukce je zahrnuta do celkové ztráty.

**Výpočet je proveden dle vzorce Kirschnera**

$$h_{zc} = \beta \cdot \left(\frac{S}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

kde:  $h_{zc}$  jsou hydraulické ztráty v česlích (m)

$\beta$  – tvarový součinitel obtékání česlic (-), zvoleny hodnoty 2,05 a 2,42

$S$  – vnější průměr česlic (m)

$b$  – světlá vzdálenost mezi česlicemi (m)

$v_0$  – střední rychlost v profilu česlí (m.s<sup>-1</sup>)

### 5.1 Hydraulické ztráty od česlic

**Vstupní parametry:**

- $\beta$  2,05
- $S$  0,07 m
- $b$  0,20 m
- $v_0$  dle posuzovaného stavu

Tabelárně sestavené výsledky:

| Posuzovaný stav/průtok  | $\beta$<br>(-) | $S$<br>(m) | $b$<br>(m) | $v_0$<br>(m.s <sup>-1</sup> ) | $h_{zc}$<br>(m) |
|---|----------------|------------|------------|-------------------------------|-----------------|
| odtok od MVE 2x 16 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>              | 2.05           | 0.07       | 0.20       | 1.20                          | <b>0.037</b>    |
| odtok od spodních výpustí 1x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> |                |            |            | 3.16                          | <b>0.257</b>    |
| odtok od spodních výpustí 2x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> |                |            |            | 2.67                          | <b>0.184</b>    |

### 5.2 Hydraulické ztráty od podélné výztuhy

**Vstupní parametry:**

- $\beta$  2,42
- $S$  0,09 m
- $b$  0,80 m
- $v_0$  dle posuzovaného stavu

Tabelárně sestavené výsledky:

| Posuzovaný stav/průtok  | $\beta$<br>(-) | S<br>(m) | b<br>(m) | $v_0$<br>(m.s <sup>-1</sup> ) | $h_{zp}$<br>(m) |
|---|----------------|----------|----------|-------------------------------|-----------------|
| odtok od MVE 2x 16 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>              | 2.42           | 0.09     | 0.80     | 1.20                          | <b>0.010</b>    |
| odtok od spodních výpustí 1x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> |                |          |          | 3.16                          | <b>0.067</b>    |
| odtok od spodních výpustí 2x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> |                |          |          | 2.67                          | <b>0.048</b>    |

### 5.3 Celková hydraulická ztráta

Celková ztráta je dána součtem ztráty od česlic a podélnými výztuhami.

$$h_{zcp} = h_{zc} + h_{zp}$$

Tabelárně sestavené výsledky:

| Posuzovaný stav/průtok  | $h_{zc}$ | $h_{zp}$ | $h_{zcp}$    |
|---|----------|----------|--------------|
|   | (m)      |          |              |
| odtok od MVE 2x 16 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>              | 0.037    | 0.010    | <b>0.047</b> |
| odtok od spodních výpustí 1x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> | 0.257    | 0.067    | <b>0.324</b> |
| odtok od spodních výpustí 2x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> | 0.184    | 0.048    | <b>0.231</b> |

## 6. SOUHRN

Po posouzení zadaných stavů provedl zhotovitel posudku ještě výpočty pro plnou kapacitu spodních výpustí při hladině zásobního prostoru, a to odtok od spodních výpustí ve výši 1x 50,7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> realizovaný polovinou odpadní štolou a 2x 50,7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> realizovaný celou štolou. Dle dostupných informací se jedná o teoretickou hodnotu, která prakticky není dosahována. Podrobný výpočet již není uváděn. Z posuzovaných stavů je nejnepříznivější situace, kdy spodními výpustmi odtéká 2x 45 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a 2x 50,7 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Při těchto scénářích dochází k největšímu snížení volné výšky mezi hladinou a stropem štolou, viz následující tabulka.

| Posuzovaný stav/průtok  | LG Nechanice   |               | Odpadní štola |             |                |              |
|---|--|---------------|---------------|-------------|----------------|--------------|
|   | Celkový průtok<br>(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) | Výška hladiny | Výška hladiny | Volná výška | Celková ztráta | Volná výška* |
|   |  |               |               |             |                |              |
| odtok od MVE 2x 16 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>                | 32.0   | 0.79          | 2.73          | 1.17        | 0.05           | <b>1.12</b>  |
| odtok od spodních výpustí 1x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>   | 45.0   | 0.98          | 2.92          | 0.98        | 0.33           | <b>0.65</b>  |
| odtok od spodních výpustí 2x 45 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup>   | 90.0   | 1.52          | 3.46          | 0.44        | 0.24           | <b>0.20</b>  |
| odtok od spodních výpustí 1x 50.7 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> | 50.7   | 1.05          | 2.99          | 0.91        | 0.40           | <b>0.51</b>  |
| odtok od spodních výpustí 2x 50.7 m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> | 101.4  | 1.64          | 3.58          | 0.32        | 0.28           | <b>0.04</b>  |

Volná výška v tabulce označuje vzdálenost mezi hladinou a stropem štolou; volná výška označená \* představuje vzdálenost po odečtení celkové hydraulické ztráty.