

10.324 *Vznik a vývoj mezní vrstvy v kanále.*  
**(a)** proudění v kanále; **(b)** rovnice pro výpočet délky vstupního úseku pro případ laminárního proudění v potrubí<sup>(7)</sup> (za  $Re$  se dosazuje takové, které nastane při plně vyvinuté mezní vrstvě), pro případ turbulentního proudění v potrubí vstupní úsek nezáleží na  $Re$  a je dlouhý přibližně 10 až 60 průměrů potrubí [17, s. 66].  $x_e$  [m] vstupní úsek (není dokončen vývin mezní vrstvy);  $E$  [m] oblast plně vyvinutá mezní vrstvy;  $d$  [m] vnitřní průměr potrubí (charakteristický rozměr pro případ kruhového průřezu). Zdroj: [16, s. 8-4], [17, s. 66].

<sup>(7)</sup> *Poznámka*

Hodnotu 0,065 odvodil francouzský fyzik a matematik **Joseph Boussinesq** (1842-1929), hodnotu 0,025 německý fyzik **Ludwig Schiller** (1882-1961). Přičemž lze říci, že vyšší hodnoty jsou vhodné pro kratší úseky a nižší pro delší vstupní úseky [3, s. 194].

Délka úseku, na které začne proudění turbulizovat také záleží na geometrii vstupu, kde se mohou narušovat proudnice o vstupní hrany a také drsnosti povrchu.

### Výpočet tloušťky mezní vrstvy

Tloušťku mezní vrstvy je obtížné spočítat, ale lze využít toho, že mezní vrstva snižuje průtok, tekutina v ní ztrácí hybnost a kinetickou energii oproti nevazkému proudění [20, s. 71]. Odtud lze stanovit tři charakteristické tloušťky mezní vrstvy<sup>(8, 9, 10)</sup>:

<sup>(8)</sup> *Pošinovací tloušťka mezní vrstvy*

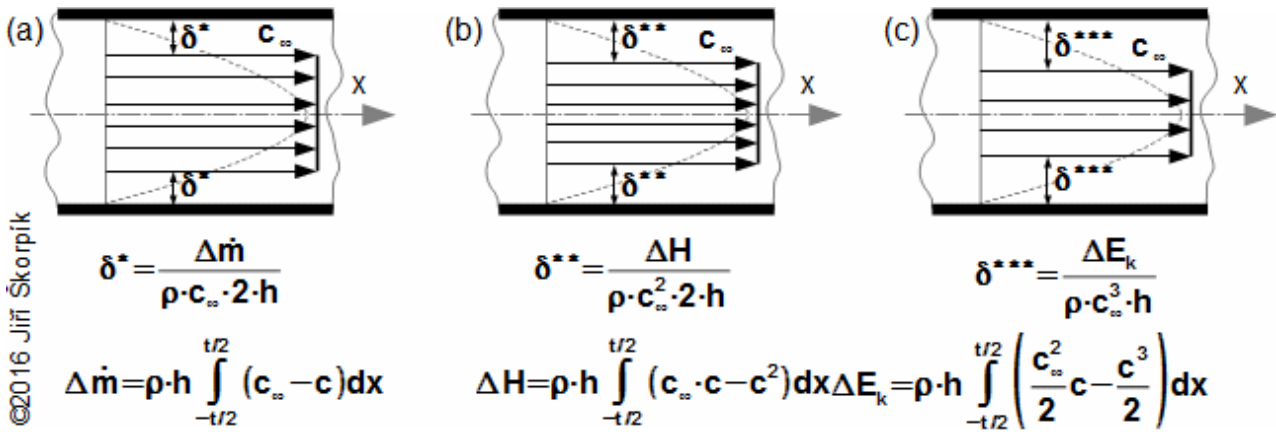
je vrstva, o kterou by se mohl snížit průtočný průřez kanálu při nevazkém proudění, přičemž hmotnostní průtok by byl stejný jako při vazkém proudění původním (větším) průtočným průřezem. Lze ji vypočítat z rozdílu skutečného a teoretického průtoku.

<sup>(9)</sup> *Impulsní tloušťka mezní vrstvy*

je vrstva, o kterou by se mohl snížit průtočný průřez kanálu při nevazkém proudění, přičemž průtok i hybnost by byly stejné jako při vazkém proudění původním (větším) průtočným průřezem. Hybnost – síla, kterou vyvolá proud tekutiny při nárazu do nehybné stěny ( $m \cdot c$ ). Znamená to, že mezní vrstva přenáší od tření sílu na kanál. Lze ji vypočítat z rozdílu síl, kterou působí tekutina na kanál oproti nevazkému proudění při stejném hmotnostním průtoku.

<sup>(10)</sup> *Energetická tloušťka mezní vrstvy*

je vrstva, o kterou by mohl být zvětšen obtékaný profil lopatky při proudění bez mezní vrstvy, přičemž kinetická energie pracovní tekutiny takto zmenšeným lopatkovým kanálem by byla stejná. Lze ji vypočítat z rozdílu kinetické energie nevazkého proudění a vazkého proudění při stejném průtoku.



11.409 Charakteristické tloušťky mezní vrstvy pro případ proudění mezi dvěma deskami.

(a) pošinovací tloušťka mezní vrstvy; (b) impulsní tloušťka mezní vrstvy; c energetická tloušťka mezní vrstvy.  $h$  [m] šířka kanálu;  $\Delta \dot{m}$  [kg·s<sup>-1</sup>] rozdíl mezi hmotnostním průtokem při nevazkém proudění a vazkém proudění;  $\Delta H$  [N] rozdíl mezi hybností tekutiny při nevazkém proudění a vazkém proudění při stejném hmotnostním průtoku;  $\Delta E_k$  [J·kg<sup>-1</sup>] rozdíl kinetické energie nevazkého proudění a vazkého proudění při stejném průtoku. Rovnice jsou odvozeny pro symetrický rychlostní profil. Stejným postupem jako je uvedeno v Příloze 409 lze odvodit charakteristické tloušťky i pro jiné typy kanálů nebo osamocených profilů [20, s. 71].

Tyto charakteristické tloušťky mezní vrstvy se uplatňují v aerodynamice kanálů a to především v aerodynamice lopatkových kanálů. Podle jednotlivých tlouštěk lze porovnávat typy kanálu mezi sebou z pohledu rychlostí, hybnosti a energetických ztrát, protože jsou aplikace, kde je důležitá například co nejmenší ztráta hybnosti a u jiné energetická ztráta a podobně. Například hybnost je důležitá při vyhodnocování citlivosti mezní vrstvy na odtržení profilu v difuzoru.

Vypočítejte charakteristické tloušťky mezní vrstvy, jestliže víte, že rychlostní profil je parabolický. Potřebné rychlosti, šířku, výšku kanálu a hustotu tekutiny si zvolíte. Řešení úlohy je uvedeno v Příloze 413.

Úloha 3.413

### Tlaková ztráta v potrubí nejen kruhového průřezu

Zřejmě nejčastějším případem výpočtu tlakového ztráty je jeho výpočet v potrubí kruhového průřezu, ale je nutné také řešit potrubí jiných tvarů a tlakové ztráty v místních odporech (armatury a potrubní tvarovky). Z výše uvedených vztahů pro viskozitu lze snadno odvodit vztah pro výpočet tlakové ztráty pro případ laminárního ustáleného proudění jako funkce dynamického tlaku. Tato rovnice se nazývá Darcy-Weisbachova rovnice, kterou sestavil francouzský inženýr **Henrym Darcym** (1803-1858) pro potrubí. Později, na základě dlouhodobých experimentů a dedukce, potrdil platnost tohoto vztahu německý inženýr **Julius Weisbach** (1806-1871) i pro proudění přechodové a turbulentní a dokonce i pro ztrátu v potrubních tvarovkách a ventilech:

$$\Delta p_z = \xi \cdot \rho \frac{c^2}{2}$$

12.657 Darcy-Weisbachova rovnice pro výpočet tlakové ztráty.

$c$  [m·s<sup>-1</sup>] střední rychlost proudění (od nadtržítka nad  $c$  se upouští i v následujícím textu);  $\xi$  [-] ztrátový součinitel prvku (definovaný Weisbachem [3, s. 82]).