Interná prezentácia doktorantov

NESTABILITY PŘI SPALOVÁNÍ KAPALNÉHO PALIVA

- **Doktorant:** Ing. L. Golitko
- **Školiteľ:** prof. Ing. M. Jícha, CSc
- **Školiteľ špecialista:** Ing. M. Forman, Ph.D

- **Odvodenie Greenovej rovnice:**

- Povrch plameňa a uvoľňovanie tepla
- Plocha povrchu plameňa
- Miera uvoľnenia tepla
- Akustický tok generovaný zdrojom tepla

- **Výhody Použitia Greenových funkcií**

- **Budúcnosť**

1. G – rovnica – derivácia:

G – skalárna premenná postupujúca z horiacich do nezapálených regiónov

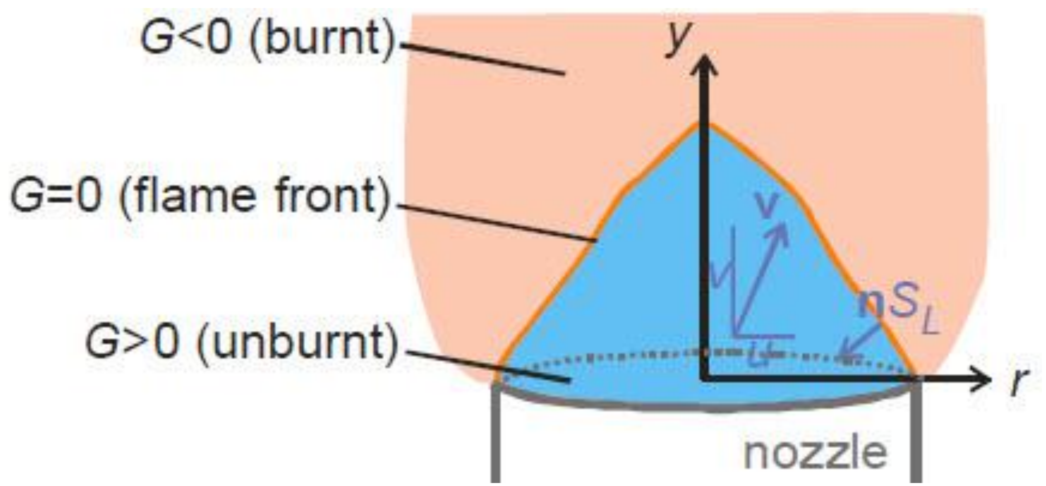
Povrch plameňa: G(r,y,t) = 0

Postup plameňa v smere normály rýchlosťou S_L

Rýchlosť frontu plameňa vzhľadom k nehoriacej zmesi:
$S_L\mathbf{n}$ (**n** – jednotkový)

Rýchlosť média v nezapálenej časti: $\mathbf{v} = (u,v)$

Rýchlosť frontu plameňa vzhľadom na výstup trysky:
$\mathbf{v} + S_L\mathbf{n}$



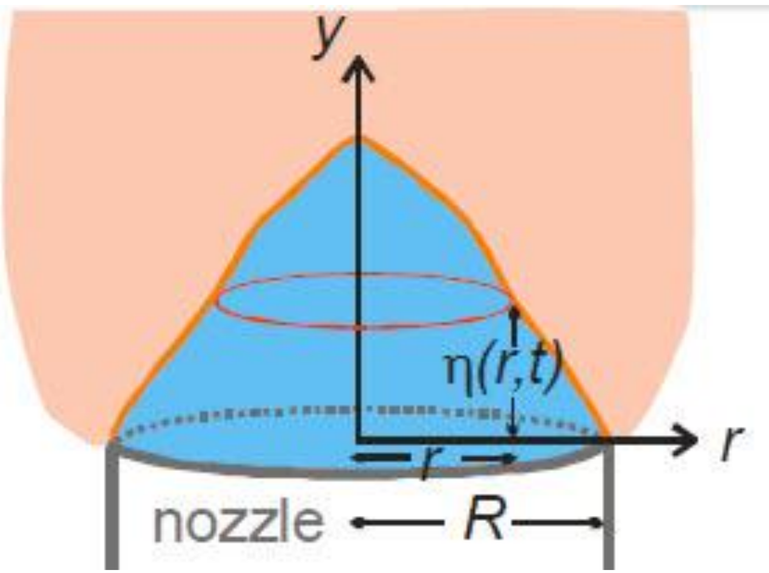
1. G – rovnica – derivácia:

- Konvektívna derivácia funkcie G musí byť rovná 0:

$$\frac{D\widetilde{G}}{Dt} = \frac{\partial G}{\partial t} + (\mathbf{v} + S_L \mathbf{n}).\nabla G = 0$$

- Dosadením $\mathbf{n} = \frac{\nabla G}{|\nabla G|}$ dostaneme:

$$\frac{\partial G}{\partial t} + \mathbf{v}.\nabla G = -S_L|\nabla G|$$



2. Povrch plameňa a uvoľňovanie tepla

- Pozícia frontu plameňa – predpokladáme že povrch plameňa je jemne zvlnený a može byť popísaný funkciou η(r,t)

- Zvolením G(r,y,t) = η(r,t) – y nadobudne funkcia G tvar:

$$\frac{\partial \mathrm{G}}{\partial \mathrm{t}} + \mathbf{v}.\nabla \mathrm{G} = -\mathrm{S_L}|\nabla \mathrm{G}|$$

Kde: $\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial \eta}{\partial t}, \ \nabla G = \left(\frac{\partial G}{\partial r}, \frac{\partial G}{\partial y}\right) = \left(\frac{\partial \eta}{\partial r}, -1\right), \ |\nabla G| = \sqrt{(\frac{\partial \eta}{\partial r})^2 + 1}, \ \mathbf{v} = (u, v)$

- Po úprave vznikne: $\frac{\partial \eta}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{u}\frac{\partial \eta}{\partial \mathrm{r}} - \mathrm{v} = \mathrm{S_L}\sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \mathrm{r}}\right)^2 + 1}$

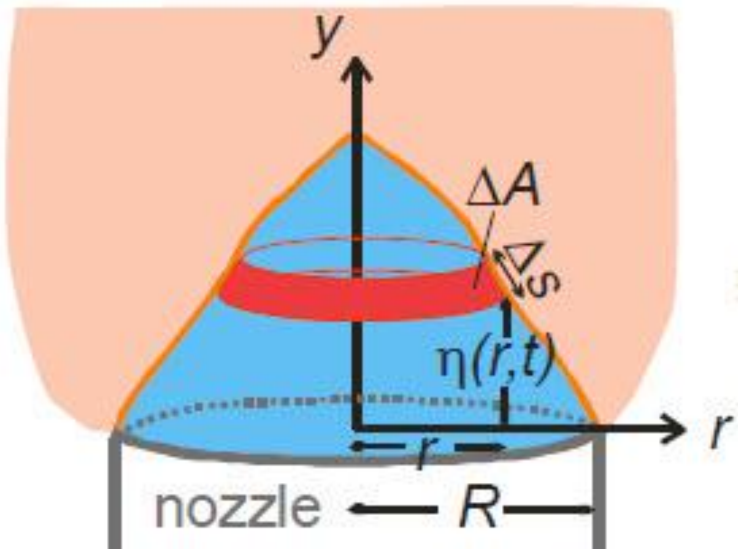
3. Plocha povrchu plameňa

- Predpokladáme obvodový element obsahu ΔA:

$$\Delta A = 2\pi r \Delta s =$$

$$= 2\pi r \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta r)^2} =$$

$$= 2\pi r \sqrt{(\frac{\Delta\eta}{\Delta r})^2 + 1}\, \Delta r$$



čiže:

$$dA = 2\pi r \sqrt{(\frac{\partial\eta}{\partial r})^2 + 1}\, dr \quad A = \int_{r=0}^{R} 2\pi r \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial r}\right)^2 + 1}\, dr$$

4. Miera uvoľňovania tepla

- Predpokladáme nekonečne rýchle spaľovanie

- Celkové okamžité uvoľnovanie tepla z povrchového elementu ΔA:

- $\Delta Q = \rho\, S_L\, \Delta h\, \Delta A$ kde: ρ – hustota nespálenej zmesi

  Δh – uvoľnené teplo na jednotku hmotnosti

  S_L - rýchlosť plameňa

- Celkové uvoľnené teplo: $Q = \int_{r=0}^{R} \rho S_L \Delta h 2\pi r \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial r}\right)^2 + 1} dr$

5. Stacionárny stav (Steady state)

- Žiadna časová závislosť: $\eta = \bar{\eta}(r)$; $\dfrac{\partial \eta}{\partial t} = 0$
- Predpokladáme jednoduchý axiálny jednotný tok: $u = 0, v = \bar{v} = kon\check{s}t.$
- Potom rovnica sledujúca front plameňa bude: $\bar{v} = S_L \sqrt{\left(\dfrac{\partial \eta}{\partial r}\right)^2 + 1}$
- Riešenie pre $\dfrac{\partial \bar{\eta}}{\partial r}$: $\dfrac{\partial \bar{\eta}}{\partial r} = \pm \sqrt{\dfrac{\bar{v}^2 - S_L^2}{S_L^2}}$
- Riešenie pre $\bar{\eta}(r)$: $\bar{\eta}(r) = \pm (r - R) \sqrt{\dfrac{\bar{v}^2 - S_L^2}{S_L^2}}$ - čo popisuje povrch kónického plameňa

6. Nelineárny typ

- Predpokladajme harmonickú rýchlosť: $v'(t) = a\bar{v}e^{-i\omega t}$

- Vyriešením popisujúcej rovnice a pre $Q'(t)$:

$$Q'(t) = \widehat{Q_1}(\omega, a)e^{-i\omega t} + \widehat{Q_2}(2\omega, a)e^{-2i\omega t} + \cdots$$

- Z toho rovnica popisujúca plameň:

$$T(\omega, a) = \frac{\widehat{Q_1}(\omega, a)/\bar{Q}}{\hat{v}(\omega, a)/\bar{v}}$$

7. Metóda Greenovej funkcie v časovej doméne

- Funkcia G(**r**,**r**´,t,t´) impulzom, zdroj impulzu v (**r**´,t´)→zvukový tok v (**r**,t)

- Riadiaca rovnica pre Greenovu funkciu zvukových vĺn:

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 G}{\partial t^2} - \nabla^2 G = \delta(\mathbf{r}-\mathbf{r}')\delta(t-t')$$

- V rezonátore je Greenova funkcia daná tvarom:

$$G(\mathbf{r},\mathbf{r}',t,t') = \begin{cases} 0 & \text{pre } t < t' \\ \sum_{n=1}^{\infty} g_n(\mathbf{r},\mathbf{r}')\mathrm{e}^{-\mathrm{i}(\omega_n + \mathrm{i}\delta_n)(t-t')} & t > t' \end{cases}$$

8. Akustický tok generovaný kompaktným zdrojom tepla

- Predpokladajme čiastkový (1-D) systém spaľovania so zdrojom tepla v x_q

Akustická rovnica:

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}-\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}=-\frac{\gamma-1}{c^2}\underbrace{q(x,t)}_{=q(t)\delta(x-x_q)}$$

Rovnica pre Greenovu funkciu: $\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 G}{\partial t^2}-\frac{\partial^2 G}{\partial x^2}=\delta(x-x')\delta(t-t')$

- Vzniká integrálna rovnica $\phi(x,t)=-\frac{\gamma-1}{c^2}\int_{t'=0}^{t} q(t')G(x,x_q,t-t')\,dt'$ $\Big|\ \frac{\partial}{\partial x}$ v bode x_q je q funkciou rýchlosti v zdroji tepla

$$u_q : u_q(t)=-\frac{\gamma-1}{c^2}\int_{t'=0}^{t} q(u_q(t'))\left.\frac{\partial G(x,x',t-t')}{\partial x}\right|_{\substack{x=x_q\\ x'=x_q}} dt'$$

9. Výhody metódy Greenovej funkcie

- Určuje: - frekvencie

  - prírastky

  - správanie lineárnych a nelineárnych nestabilít

  - amplitúdy limitných cyklov oscilácií

Nelineárne efekty v Q(u) možu byť modelované

Budúcnosť

- Podrobné naštudovanie Greenových funkcií
- Prepracovanie k vyjadreniu spaľovania kvapočiek
- Aplikácia do modelu spaľovania
- Overenie

Ďakujem za pozornosť