

VYLEPŠENIE VETRANIA V TUNELOCH POMOCOU PREDIKTÍVNYCH ALGORITMOV S POUŽITÍM MATLABU

Ing. Jozef Hrbček, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Elektrotechnická fakulta, Katedra riadiacich a informačných systémov

hrbcek@fel.uniza.sk

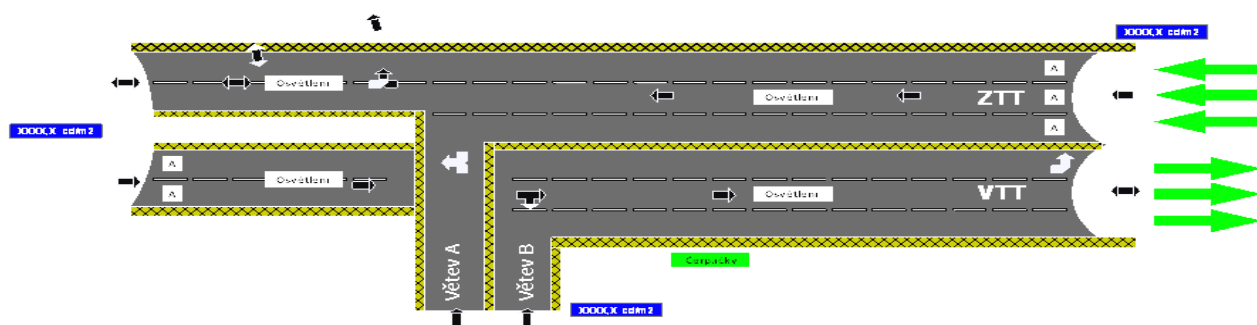
1 Úvod

Článok sa zaoberá návrhom prediktívneho riadenia vetrania v tuneli. K dosiahnutiu tohto cieľa bolo nevyhnutné realizovať analýzu a identifikáciu konkrétneho tunela. Túto metódu je možné použiť len v existujúcich tuneloch, ktoré už majú realizovaný systém vetrania. Pre použitie výsledkov v inom tuneli je potrebné uskutočniť tento postup pre daný systém s reálnymi dátami vybraného tunela.

Na základe modelovania je zrealizovaný návrh prediktívneho riadenia vetrania v tuneli. K tomuto návrhu bolo potrebné identifikovať vlastnosti ventilátora. Aj k tomu boli použité údaje z riadiaceho systému cestného tunela Mrázovka (CTM). Návrh je realizovaný v prostredí Matlab. Simulácie sú pre dvojrozmerný systém s použitím metódy DMC. Výhody prediktívneho riadenia spočívajú v tom, že umožňujú riešiť SISO aj MIMO úlohy, zohľadňujú dynamiku zmien procesu v širokom rozsahu – pružnosť modelu, kompenzujú vplyv merateľných a nemerateľných porúch (jedná sa o dopredné formy riadenia) a riešenie úloh je formulované ako „optimalizačný problém riadenia“ pri zohľadnení ohraničujúcich podmienok na riadiaci zásah, zmenu riadiaceho zásahu a výstupné premenné.

2 Vzduchotechnika cestného tunela Mrázovka

System vetrania v tuneli Mrázovka tvorí jeden funkčný celok. Ide o pozdĺžne vetranie s centrálnou odvodnou šachtou a ochranným systémom pred šírením škodlivín do okolitého prostredia. Vetranie je navrhnuté ako pozdĺžne v smere jazdy s nasávaním v južnom vyústení východného tunelu (VTT) a vo vetve B, s prevodom vetracieho vzduchu v severnom tuneli do západného tunelu (ZTT).



Obr. 1 Schéma tunela Mrázovka

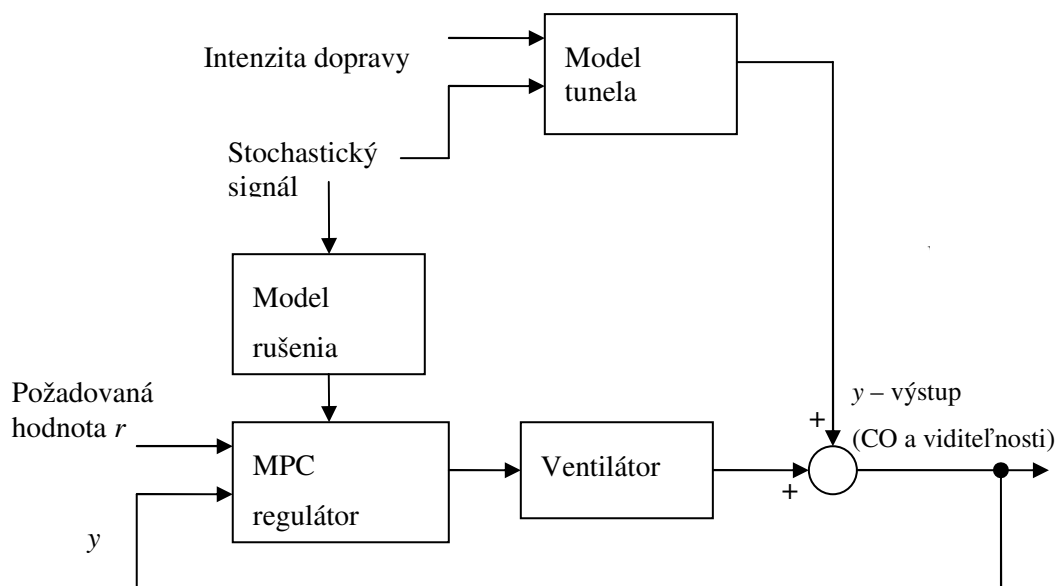
Úlohou je navrhnuť prístup k riadeniu vzduchotechniky prostredníctvom dopravných parametrov. Súčasťou tejto úlohy je pokúsiť sa nájsť vzťah medzi intenzitou dopravy, rýchlosťou dopravy a koncentráciou škodlivín vo vnútri tunela. K tejto úlohe bola vybraná východná tunelová trúba tunela Mrázovka ako modelový príklad. VTT bola vybraná k analýze a experimentom s vetraním z viacerých dôvodov. Prvým dôvodom je princíp miešania znečisteného vzduchu z VTT do ZTT. Preto namerané hodnoty splođín v ZTT sú ovplyvňované aj intenzitou dopravy vo VTT.

3 Simulácie prediktívneho riadenia v Matlabe

Na Obr. 2 je bloková schéma prediktívneho regulátora v uzavretej slučke. Model tunela a ventilátora je získaný pomocou identifikácie skutočných zariadení. Intenzita vozidiel spôsobuje zvyšovanie koncentrácií škodlivín v tuneli. Táto intenzita je vyjadrená vektorom, ktorý obsahuje

skutočne namerané dáta. Matlab poskytuje vhodný spôsob, ako simulovať správanie systému podľa Obr. 2.

Jedná sa o reguláciu systému v uzavretej slučke s ohraničeniami na riadiacu veličinu a na výstupy. Používa MPC mod formát. Rieši optimalizačný problém použitím kvadratického programovania.



Obr.2 Riadenie vetrania v uzavretej slučke pomocou prediktívneho regulátora

4 DMC (Dynamic Matrix Control)

DMC je jeden z najrozšírenejších prístupov a je základom rozličných komerčne dostupných MPC produktov.

Je založený na modeli získanom z prechodovej alebo impulznej charakteristiky.

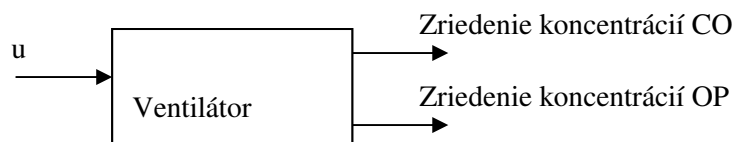
$$y(k) = \sum_{i=1}^N h_i u(k-i), \quad (1)$$

kde h_i sú koeficienty FIR (konečnej impulznej odozvy) modelu riadeného systému.

5 Časti regulačného obvodu

Požadované vstupné veličiny sú nasledovné:

Blok **ventilátor** je model v MPC *step* formáte, ktorý charakterizuje účinok ventilátora na koncentrácie CO a viditeľnosti (OP). Jedná sa o systém s jedným vstupom a dvoma výstupmi.



Obr. 3 model ventilátora

Model ventilátora má tvar:

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1(k) \\ G_2(k) \end{bmatrix} \cdot u(k)$$

Medzi jednu z hlavných výhod prediktívneho riadenia možno považovať zakomponovanie ohraničujúcich podmienok priamo do algoritmu riadenia. V tomto prípade sa jedná o ohraničenie veľkosti riadenej veličiny. Riadiaca veličina u je v rozmedzí 0–10V.

Model tunela je tiež model v MPC step formáte, ktorý je použitý pre odhad stavu v regulátore. Do procesu vstupuje ako vektor hodnôt, ktoré sú počítané na základe intenzity dopravy v určitom predikčnom horizonte. Vo všeobecnosti môže byť tento model vyjadrený inou formou.

Pre každé súčasné a budúce získané nastavenie riadiacich zásahov, budúce správanie výstupov procesu $y(k + 1k)$, $y(k + 2k)$, . . . , $y(k + pk)$ môže byť predikované v časovom horizonte p . m súčasných a budúcich riadiacich zásahov ($m \leq p$) je počítaných tak, aby bolo minimalizované kvadratické kritérium, ktoré má tvar:

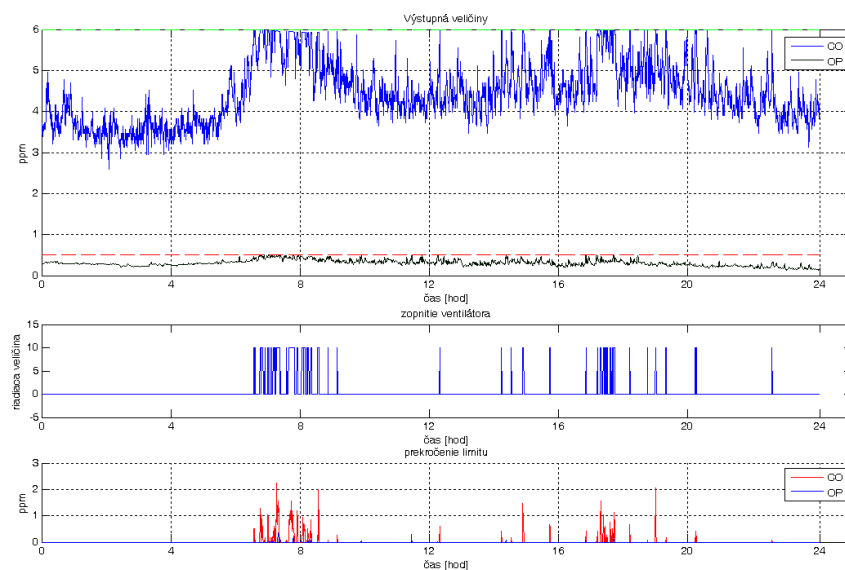
$$\min_{\Delta u(k) \dots \Delta u(k+m-1)} \sum_{l=1}^p \left\| \Gamma_l^y ([y(k+l|k) - r(k+l)]) \right\|^2 + \sum_{l=1}^m \left\| \Gamma_l^u [\Delta u(k+l-1)] \right\|^2,$$

kde Γ_l^y a Γ_l^u sú váhové matice na ohodnotenie jednotlivých prvkov y alebo u v určitom časovom intervale do budúcnosti. $r(k+l)$ je vektor budúcich referenčných hodnôt (požadovaná hodnota). Hoci je počítaných m riadiacich zásahov, použitý je len prvý ($\Delta u(k)$). Hoci v predošlom kroku bola počítaná celá trajektória akčných zásahov, iba prvý člen $u(k)$ je aplikovaný do procesu. V ďalšej perióde vzorkovania je celý postup opakovaný. Tento princíp je známy ako stratégia pohyblivého horizontu [A6].

Predikované výstupy procesu $\hat{y}(k + 1k)$, . . . , $\hat{y}(k + pk)$ sú závislé na súčasnej nameranej veličine $y(k)$ a výpočty urobíme s ohľadom na nemerateľné poruchy a merateľné poruchy pôsobiace na výstupy.

6 Výsledky simulácií

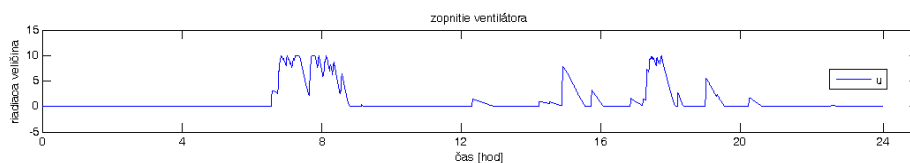
Pre nasledovné simulácie boli hraničné limity koncentrácií zvolené 6 ppm pre koncentrácie CO a 0,5 ppm pre koncentrácie viditeľnosti v tuneli. Tieto hodnoty sú zvolené nižšie pod hranicou prekročenia povolených limitov z toho dôvodu, že v danej databáze nameraných koncentrácií sa takéto hodnoty nenachádzali.



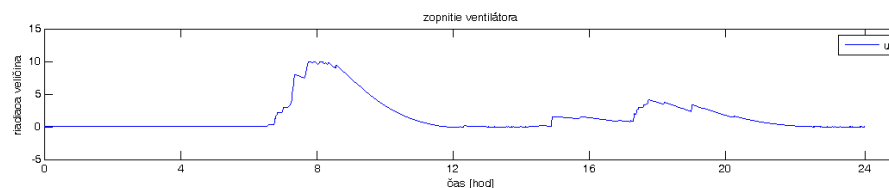
Obr. 5 Priebeh MPC regulátora

Podľa priebehov výstupnej veličiny na Obr. 5 je evidentné, že žiadna z hodnôt škodlivín nepresiahla maximálne povolený limit. Avšak pre nižšie nastavený limit môže túto hodnotu presiahnuť, pretože jeden ventilátor nestačí na zriedenie koncentrácií CO.

V nasledujúcej simulácii využijeme možnosť nastavenia váhovacích matíc (uwt) pre vyladenie regulátora.



Obr. 6 Priebeh riadiacej veličiny regulátora pre $uwt=0.05$



Obr. 7 Priebeh riadiacej veličiny regulátora pre $uwt=0.3$ a $ywt=[0.8 \ 0.8]$

Správnym nastavením váhovacích matíc môžeme predchádzať častému zopínaniu ventilátorov. V reálnej aplikácii je nutné riadiacu veličinu u prispôbiť vstupu riadiacej jednotky pre ventilátory. Riadiaca veličina nie je v reálnej aplikácii spojitá, ale má skokový priebeh.

7 Záver

K návrhu bolo potrebné identifikovať vlastnosti ventilátora. Aj k tomu boli použité údaje z riadiaceho systému CTM. Návrh je realizovaný v prostredí Matlab. Simulácie sú pre dvojrozmerný systém s použitím metódy DMC. Z uvedených výhod prediktívneho riadenia vyplýva efektívnosť návrhu riešenia vetrania v tuneli. Dokazujú to aj výsledky simulácií.

Tento článok vznikol v rámci projektu KEGA K-057-06-00 "Inovácia metodiky laboratórnej výučby na báze modelovania a simulácie v programovom prostredí Matlab v kombinácii s výukovými modelmi prostredníctvom e-learningu."

8 Literatúra

- [1] Camacho, E. F., Bordons, C.: *Model Predictive Control*. 2nd ed., Springer-Verlag London Limited, 2004, 405 p. ISBN 1-85233-694-3.
- [2] Maciejovski, J.M.: *Predictive Control with constraints*, 2002, 331p, ISBN: 0-201-39823-0
- [3] Johanson, R.: *System modeling and identification*, Prentice-Hall, 1993, 512p., ISBN: 0-13-482308-7
- [4] Help k programu MATLAB7
- [5] Hrbček, J.: *Active Control of Rotor Vibration by Model Predictive Control – a simulation study*, In: Report 153, Picaset Oy, Helsinki 2007, ISSN: 0356-0872

Ing. Jozef Hrbček, PhD.
Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline,
Katedra riadiacích a informačných systémov,
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
tel: +421 41 513 3354