



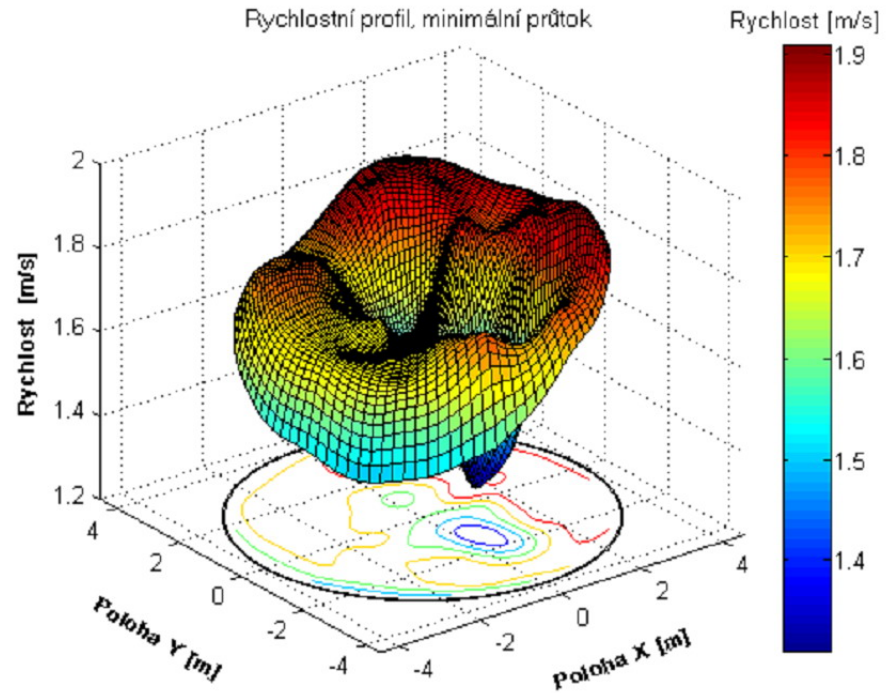
Experimentální měření průtoků ve VK EMO

XXX. Dny radiační ochrany

Liptovský Ján

10.11.-14.11.2008

Petr Okruhlica, Miroslav Mrtvý, Zdenek Kopecký





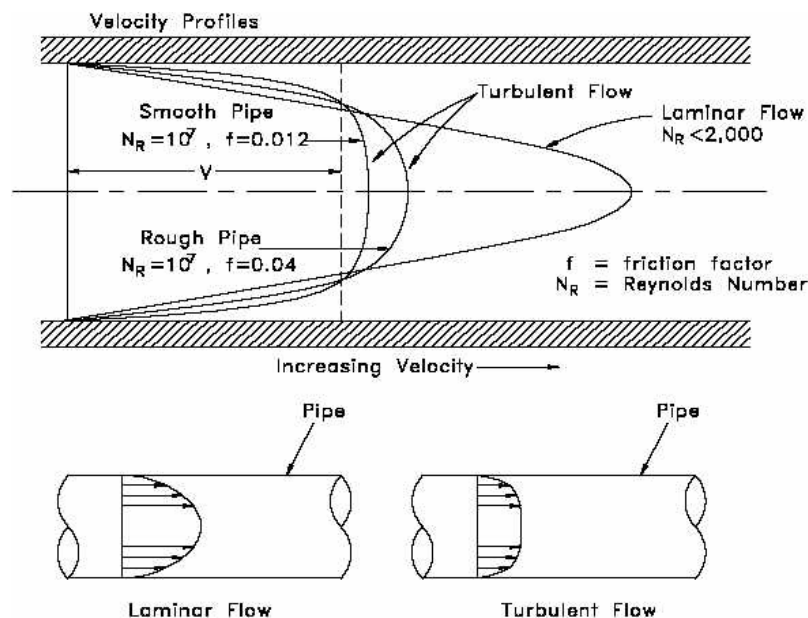
Flexibilní řešení

System měření průtoku EMO

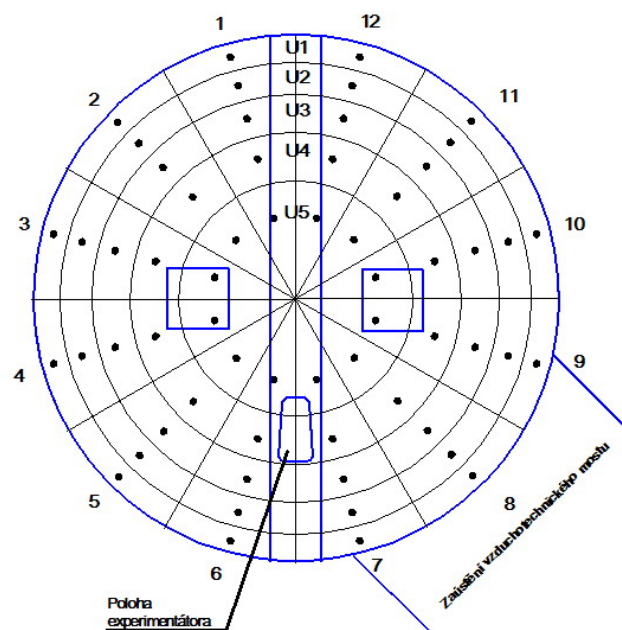
- ❑ Měření ve ventilačním komíně VK na kótě +70 metrů
- ❑ 2 měřící kříže tlakové difference Δp , přesnost měření 5 %
- ❑ Přepočet tlakové difference Δp na rychlost proudění v
- ❑ Výpočet okamžitého objemového průtoku vzdušnin v VK
- ❑ Problém – rozdíl mezi výsledky měřících křížů 10 – 20 %
- ❑ Experimentální změření pole rychlostí vzdušnin v horizontální rovině VK
- ❑ Stanovení nových kalibračních konstant pro výpočet průtoku
- ❑ Nová kalibrace systému měření průtoku

Proudění ventilačním komínem

- Teoretické předpoklady
 - Turbulentní proudění s $Re \gg Re_{krit}$
 - Efekt mezní vrstvy

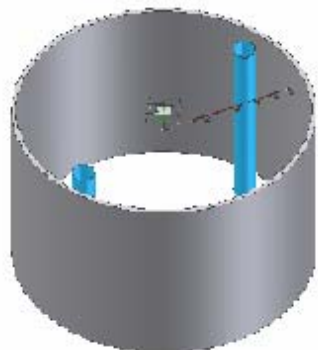


Postup při měření



- Rozdělení plochy příčného řezu komínem na 5 mezikruží se stejnou plochou U1-U5
- Rozdělení plochy každého mezikruží na 12 výsečí odpovídající oblouku 30°
- V řezu komína je naznačená ocelová lávka, umístění měřících křížů a poloha experimentátora
- Plocha jedné výseče činila $0,8 \text{ m}^2$, celková plocha horizontálního řezu komínem v rovině měření pak činí $47,3 \text{ m}^2$

Experimentální měřicí rameno



- Pro experimentální měření bylo použito 5 elektronických anemometrů LCA501 používaných k měření rychlosti proudění, objemového průtoku vzduchu a jeho teploty. Přesnost měření rychlosti proudění 1%
- Anemometry byly umístěny na otočné rameno ve vzdálenostech odpovídajícím středovým kružnicím jednotlivých měřených segmentů U1 až U5

□ Rameno bylo instalováno ve ventilačním komíně na ocelovou lávku, měřicí rovina experimentálních průtokoměrů byla cca 40 cm pod lávkou

□ Ve středu komína byla použita ocelová kruhová deska 400 mm pro fixaci měřícího ramena.





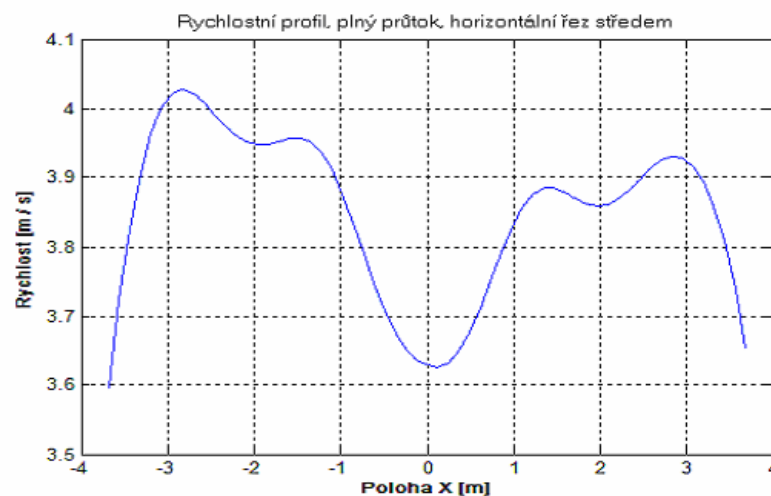
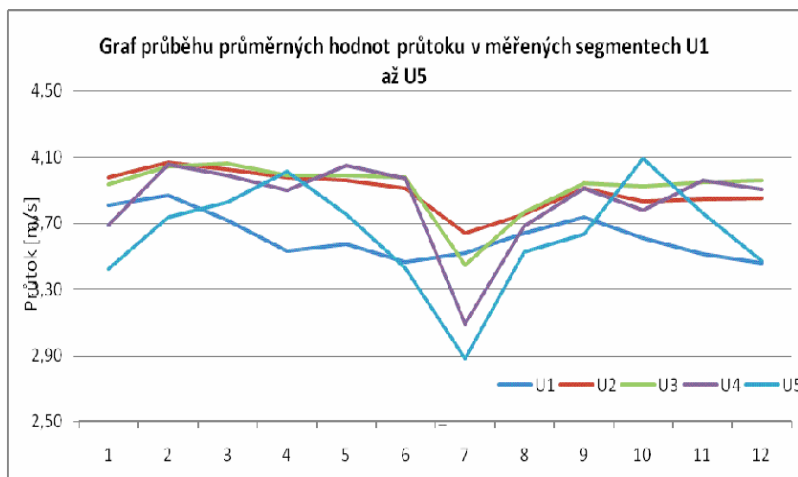
Flexibilní řešení

Experimentální měření

- ❑ První sada měření byla provedena za plného průtoku vzduchu komínem
- ❑ Druhá sada měření byla provedena při sníženém průtoku vzduchu komínem – byla vypnuta vzduchotechnika na RS 1. i 2. bloků
- ❑ Třetí sada měření byla provedena při minimálním průtoku vzduchu komínem – postup podle dočasného operativního programu
- ❑ Měření byla prováděna v 60 bodech. Délka měření v jedné poloze ramena byla cca 8 – 10 minut
- ❑ Pro rychlosti naměřené v jednotlivých měřených bodech byly vypočteny aritmetický průměr, medián, minimum, maximum, rozptyl, průměrná a směrodatná odchylka
- ❑ Pro každou výseč byl stanoven objemový průtok, dále byl vypočten celkový objemový průtok vzduchu komínem a byl přepočten na normální podmínky (teplota 273.16 K a tlak 101.325 kPa)

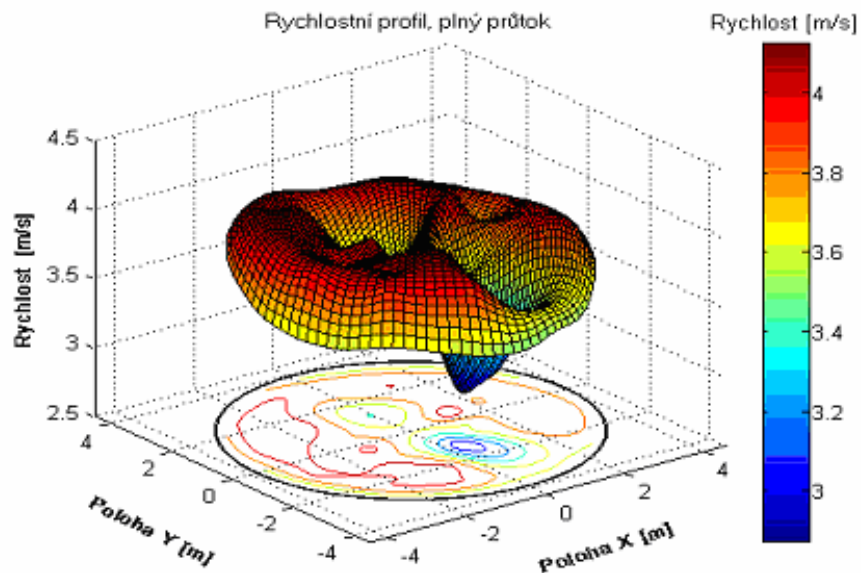
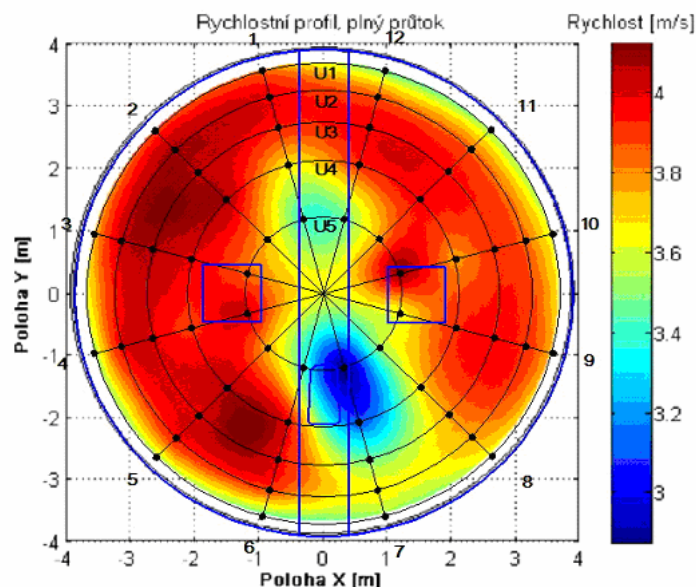
Analýza dat za plného průtoku

- ❑ Naměřené rychlosti 2,9 – 4,1 m/s
- ❑ Aritmetický průměr rychlosti 3,8 m/s se směrodatnou odchylkou 0,3 m/s
- ❑ Rychlost proudění vzduchu se v měřeném profilu pohybuje v průměru od 3 m/s do 4 m/s, tj. liší se o více než 30%
- ❑ Graf průměrných hodnot rychlostí a rychlostní profil horizontálním řezem středem



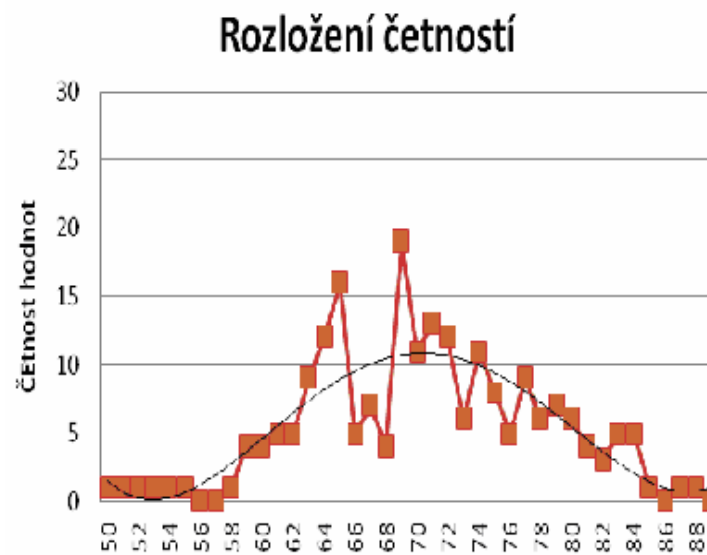
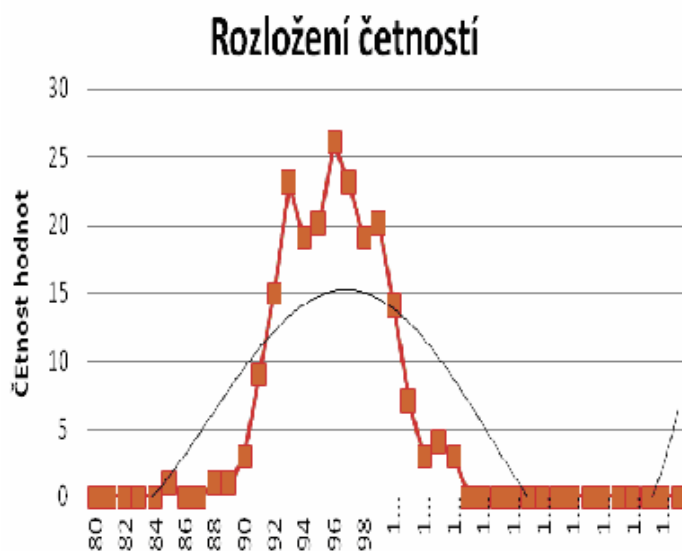
Analýza dat za plného průtoku

- Sumární nekorigovaný objemový průtok vzduchu činil **643 tisíc m³/hod**, a to při průměrné teplotě **28,5°C** a tlaku **976,9 hPa**, průtok přepočtený na normální podmínky je pak **562 tisíc m³/hod**.
- Rychlostí profil v horizontálním řezu komínem 2D a 3D



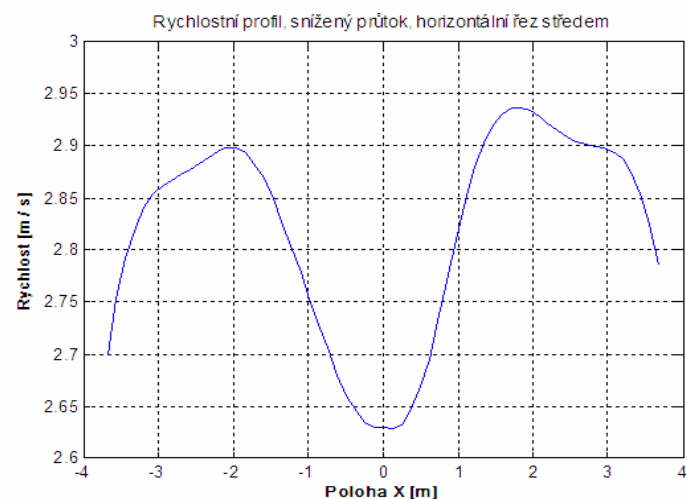
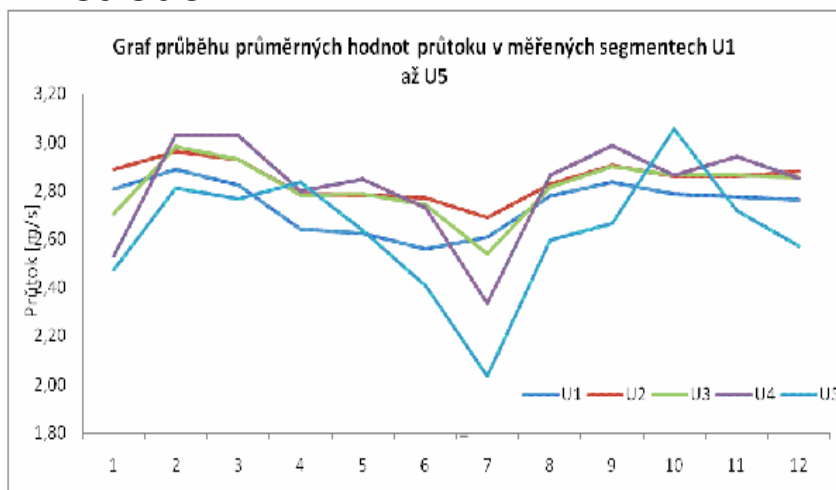
Analýza dat za plného průtoku

- Byla provedena statistická analýza hodnot z měřících křížů po dobu měření
- Jeden z křížů vykazoval nižší hodnoty průtoku s výrazně větším statistickým rozptylem hodnot



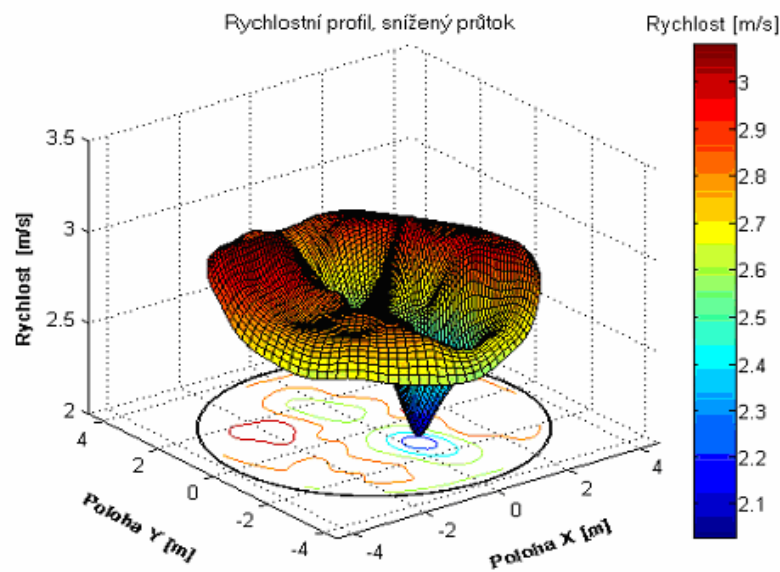
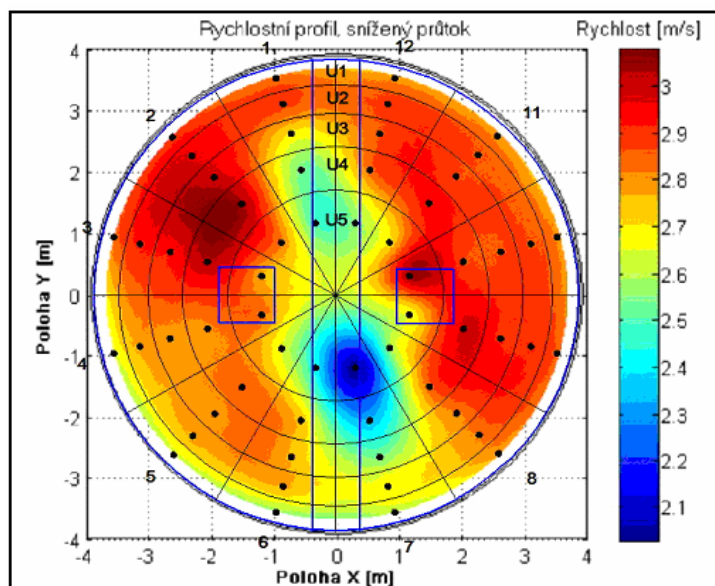
Analýza dat za sníženého průtoku

- ❑ Naměřené rychlosti 2,0 – 3,1 m/s
- ❑ Aritmetický průměr rychlosti 2,8 m/s se směrodatnou odchylkou 0,2 m/s
- ❑ Rychlost proudění vzduchu v měřeném profilu se pohybuje od 3 m/s do 3 m/s, tj. liší se o více než 40 %
- ❑ Graf průměrných hodnot rychlostí a rychlostní profil horizontálním řezem středem



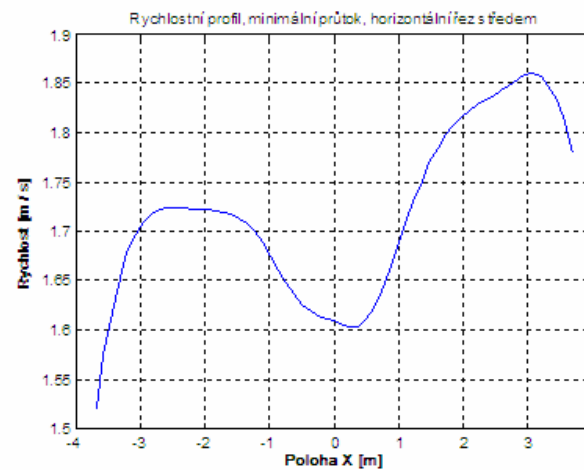
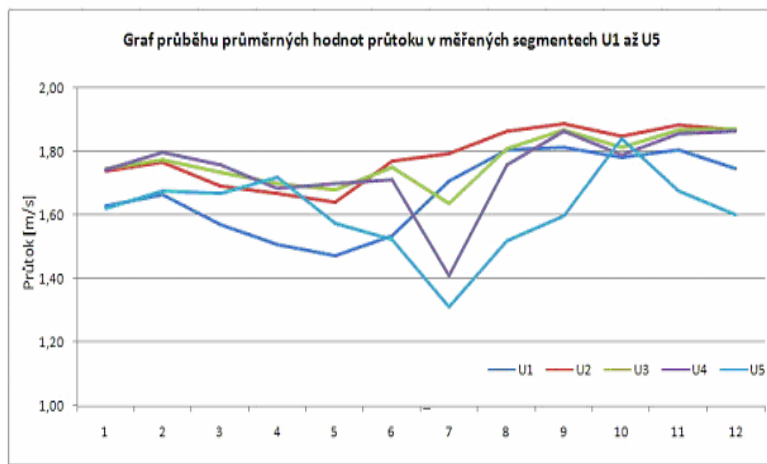
Analýza dat za sníženého průtoku

- Sumární nekorigovaný objemový průtok vzduchu činil **471 tisíc m³/hod**, a to při průměrné teplotě **27,5°C** a tlaku **996,4 hPa**, průtok přepočtený na normální podmínky je pak **421 tisíc m³/hod**.
- Rychlostí profil v horizontálním řezu komínem 2D a 3D



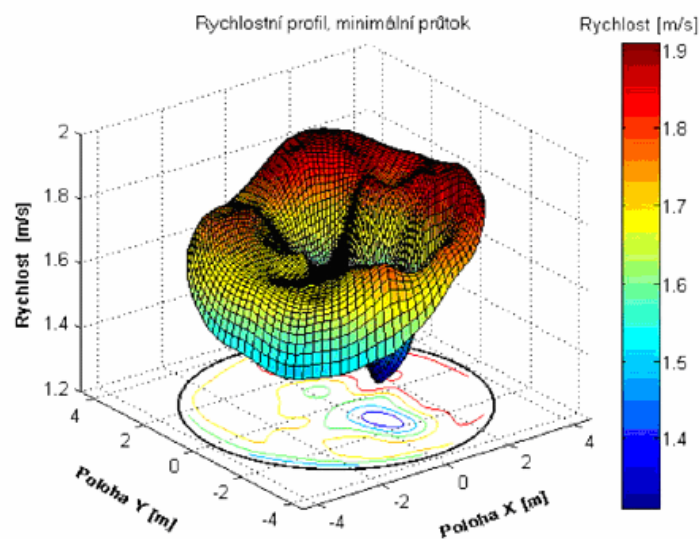
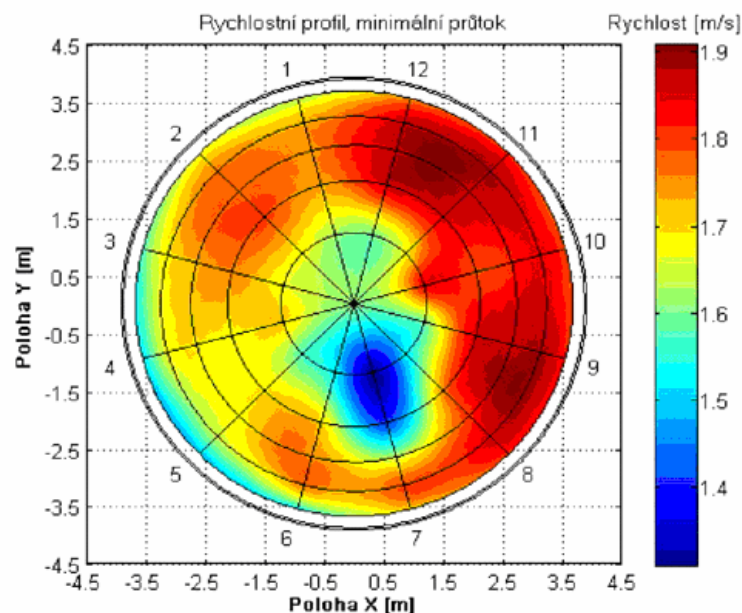
Analýza dat za minimálního průtoku

- ❑ Naměřené rychlosti 1,3 – 1,9 m/s
- ❑ Aritmetický průměr rychlosti 1,7 m/s se směrodatnou odchylkou 0,2 m/s
- ❑ Rychlost proudění vzduchu se v měřeném profilu pohybuje v průměru od 1,3 m/s do 1,9 m/s, tj. liší se o více než 40%
- ❑ Graf průměrných hodnot rychlostí a rychlostní profil horizontálním řezem středem



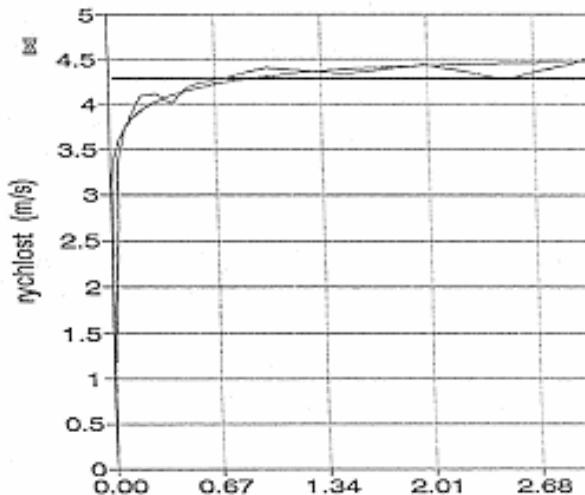
Analýza dat za minimálního průtoku

- Sumární nekorigovaný objemový průtok vzduchu činil **292 tisíc m³/hod**, a to při průměrné teplotě **28,5°C** a atmosférického tlaku 983 hPa, průtok přepočtený na normální podmínky je pak **256 tisíc m³/hod**.
- Rychlostí profil v horizontálním řezu komínem 2D a 3D



Korekce průtoku u stěny komína

- ❑ Poloměr vnitřního průměru komína v rovině měření je 3,880 m
- ❑ Poloměr středové kružnice segmentu U1 je 3,681 m
- ❑ Očekávaný rychlostní profil u stěny komína



- ❑ Z naměřených hodnot a očekávaného rychlostního profilu u stěny komína bylo odhadnuto snížení průtoku v segmentu U1 o 20% ($\pm 5\%$)
- ❑ Celkově se pak toto snížení projeví na celkovém průtoku jeho snížením o cca 4% ($\pm 2\%$).



Flexibilní řešení

Korekce průtoku na překážky

- ❑ Uvnitř komína se nachází konstrukce, které mají vliv na průtočný profil, rychlost proudění a tudíž i na hodnotu naměřeného či vypočítaného průtoku vzduchu:
 - ❑ Od stěn přes střed komína vede ocelová lávka z nosníků I a L profilů
 - ❑ Od podlahy až k lávce vedou po stěnách dva ocelové žebříky s nosnou a ochrannou konstrukcí
 - ❑ Ve středu komína je umístěno experimentální zařízení s nosnou deskou o průměru 400 mm
 - ❑ Na lávce po dobu experimentů seděla osoba manipulující s otočným ramenem pro měření průtoku

- ❑ Zmenšení profilu komína se na celkovém průtoku projeví jeho snížením o cca **3 %**



Flexibilní řešení

Kalibrace průtokoměrů – vstupní data

- Pro kalibraci průtokoměrů byla zvolena lineární regrese metodou nejmenších čtverců
- Experimentální data byla z měřících křížů a experimentálního měření: (Experimentální hodnoty přepočteny korekčním faktorem -7%):

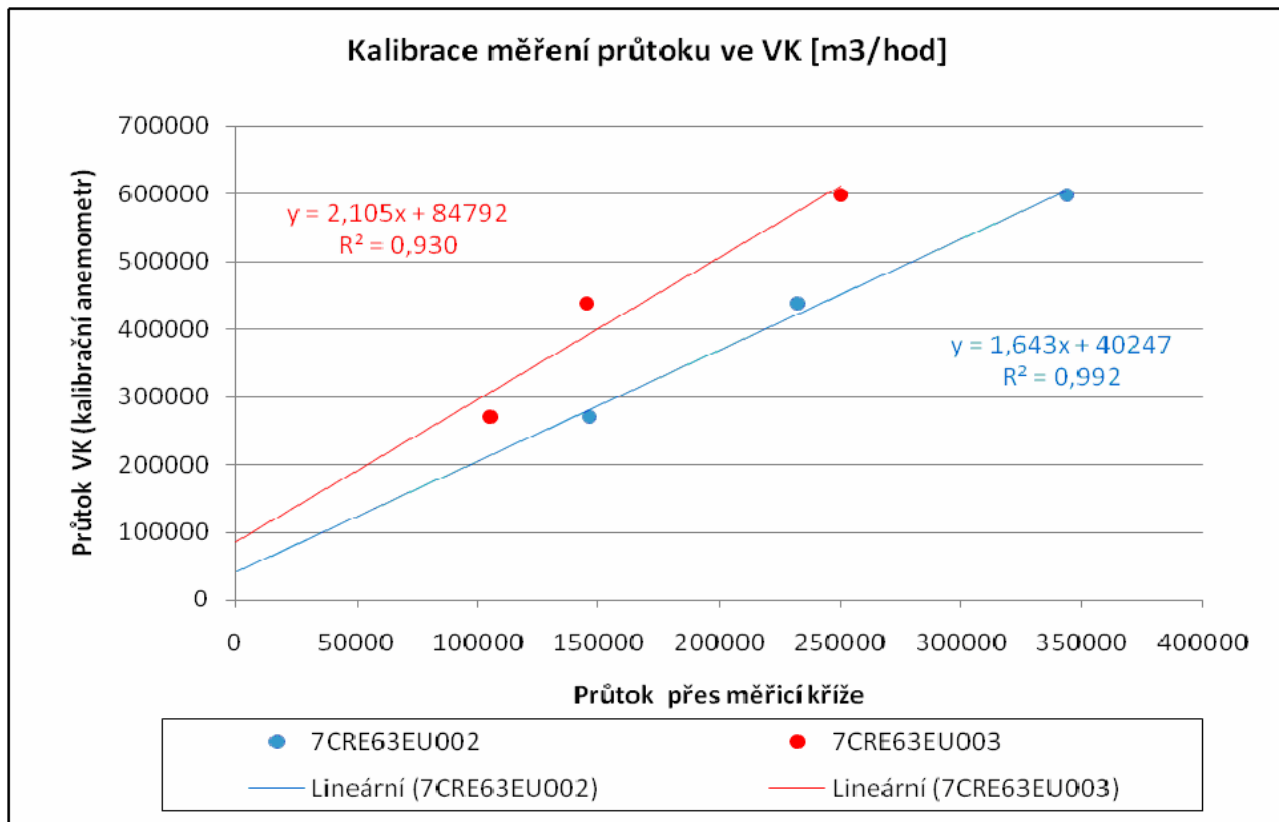
Průtok 7CRE63EU002 (vpravo)
Průtok 7CRE63EU003 (vzadu)
Průtok stanovený experimentálním měřením

Objemový průtok [m ³ /hod]		
Plný	Snížený	Minimální
343 545	232 300	146 080
249 965	145 130	105 330
598 000	438 000	271 000



Flexibilní řešení

Kalibrace průtokoměrů – regrese





Flexibilní řešení

Algoritmus výpočtu průtoku

- ❑ Měřené hodnoty jsou snímány PLC ve formě okamžitých sekundových hodnot
- ❑ Jednou za dvě minuty je ze sekundových hodnot vypočten aritmetický průměr
- ❑ Aritmetický průměr je přepočítán z m^3/s na m^3/hod
- ❑ Podle stanovené kalibrační funkce je pro každý kříž vypočítána korigovaná platná hodnota průtoku m^3/hod
- ❑ Aplikační software PLC srovnává hodnoty měřené jednotlivými kříži a v případě rozdílu, který je větší než nastavená hodnota (15%) generuje varovné hlášení
- ❑ Do CRCS je z PLC přenášena vždy hodnota posledního vypočteného průtoku z obou křížů



Flexibilní řešení

Porovnání Kalibrace průtokoměrů

Srovnání měření průtoku 7CRE63EU002 [10³ m³/hod]

	Měřicí kříž po kalibraci	Experimentálně stanovený průtok	Projektový průtok	Výsledky srovnání s projektovým průtokem		Výsledky srovnání s experimentálně zjištěným průtokem	
				Absolutní odchylka	Relativní odchylka	Absolutní odchylka	Relativní odchylka
Plný průtok	604	598	590	13	2,30%	6	1,11%
Snížený průtok	421	438	426	- 4	-1,07%	- 16	-3,81%
Minimální průtok	280	271	189	90	32,35%	9	3,30%

Srovnání měření průtoku 7CRE63EU003 [10³ m³/hod]

	Měřicí kříž po kalibraci	Experimentálně stanovený průtok	Projektový průtok	Výsledky srovnání s projektovým průtokem		Výsledky srovnání s experimentálně zjištěným průtokem	
				Absolutní odchylka	Relativní odchylka	Absolutní odchylka	Relativní odchylka
Plný průtok	610	598	590	20	3,30%	12	2,12%
Snížený průtok	390	438	426	- 36	-9,26%	- 47	12,22%
Minimální průtok	306	271	189	116	38,14%	35	11,59%



Flexibilní řešení

Závěr

- ❑ V oblasti průtoků 400 až 600 tisíc m³ za hodinu byla zjištěna dostatečná shoda mezi projektovými, vypočtenými a experimentálně získanými daty s relativní odchylkou do 6%, respektive 14%
- ❑ V oblasti velmi nízkého průtoku byl zjištěn významný rozdíl cca 40 % mezi experimentálně naměřenými a projektovými hodnotami průtoku. Tato oblast vykazuje odlišné chování a pravděpodobně při něm dochází k významnější změně charakteru proudění
- ❑ Rychlostní profily v horizontálním řezu ventilačním komínem ne zcela odpovídají teoretickým předpokladům. Na proudění se významně projevuje vliv konstrukcí a překážek umístěných do ventilačního komína a jeho stěn
- ❑ Vektor rychlosti proudění kromě axiální obsahuje pravděpodobně i další složky a není kolmý k rovině horizontálního řezu komín. Anemometry byla při experimentu měřena pouze vertikální, k rovině řezu kolmá, složka vektoru rychlosti proudění



Flexibilní řešení

Děkuji za pozornost

VF, a.s., Czech Republic

<http://www.vf.cz>

VF, s.r.o., Slovak Republic

<http://www.vf.sk>