



ÚJV Řež, a. s.
Divize ENERGOPROJEKT PRAHA

Problematika koncentrací Hg ve spalinách vzniklých po spalování pevných fosilních paliv

Lukáš Pilař

Konference „Technologie pro elektrárny a teplárny na tuhá
paliva“ - Medlov

- Schválené emisní limity dle EU pro velké spalovací zdroje
- Koloběh Hg
- Distribuce Hg po spalování
- Měření koncentrace Hg
- Stav znalostí o koncentraci Hg a výsledky výzkumného projektu
- Další postup prací

Legislativa EU

LCP

Pevná paliva

Finální limity dle 28.4.2017

▪ Emisní limity na koncentrace NO_x

Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW _t)	NO _x , roční průměr (mg/Nm ³)		NO _x , denní průměr (mg/Nm ³)		monitoring
	nový zdroj	stávající zdroj ⁽¹⁾	nový zdroj	stávající zdroj ⁽⁵⁾⁽³⁾	
<100	100 - 150	100 - 270	155 - 200	165 - 330	Kontinuální měření
100 - 300	50 - 100	100 - 180	80 - 130	155 - 210	
>300 fluidní kotel - černé a hnědé uhlí práškový kotel - hnědé uhlí	50 - 85	85 - 150 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	80 - 125	140 - 165 ⁽⁷⁾	
>300 práškový kotel - černé uhlí	65 - 85	65 - 150	80 - 125	85 - 165 ⁽²⁾	

(1) Uvedený emisní limit neplatí pro zdroje fungující méně jak 1500 h/rok

(2) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 7. ledna 2014 nebo provozováno více jak 1500 h/rok platí emisní limit 200 mg/Nm³, a 220 mg/Nm³ v případě, že je zdroj provozovaný méně jak 1500 hodin/rok.

(3) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 1. července 1987 a jsou provozovány méně jak 1500 hodin za rok a není použitelná technologie SNCR nebo SCR platí emisní limit 340 mg/Nm³.

(4) Nižší hodnota emisního limitu platí v případě využití SCR

(5) Uvedené emisní limity jsou orientační pro zdroje, které jsou v provozu více jak 500 h/rok .

(6) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 7. ledna 2014 pro FBC a pro PK spalující hnědé uhlí platí vyšší hodnoty uvedeného rozmezí, která je 175 mg/Nm³ .

(7) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 7. ledna 2014 pro FBC a pro PK spalující hnědé uhlí platí vyšší hodnoty uvedeného rozmezí, která je 220 mg/Nm³

- Emisní limity na koncentrace NH₃ a CO

Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW _t)	CO roční průměr (mg/Nm ³)	NH ₃ ⁽¹⁾ roční průměr (mg/Nm ³)	monitoring
<100	-	<3 - 10	Kontinuální měření
100 - 300	30 - 140	<3 - 10	
>300 fluidní kotel - černé a hnědé uhlí práškový kotel - hnědé uhlí	30 - 100 ⁽²⁾	<3 - 10	
>300 práškový kotel - černé uhlí	5 - 100 ⁽²⁾	<3 - 10	

(1) Emise amoniaku jsou spojeny s použitím SCR nebo SNCR

(2) Maximální hodnota koncentrace CO může být až 140 mg/Nm³ v případě omezení konstrukcí kotle anebo v případě využití fluidní technologie nevybavené sekundárním vzduchem určeným pro snížení koncentrací NO_x

▪ Emisní limity na koncentrace SO₂

Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW _t)	SO ₂ (mg/Nm ³)				monitoring
	nový zdroj	stávající zdroj ⁽²⁾	nový zdroj	Stávající zdroj ⁽⁶⁾	
	roční průměr		denní průměr		
< 100	150 - 200	150 - 360	170 - 220	170 - 400	Kontinuální měření
100 - 300	80 - 150	95 - 200	135 - 200	135 - 220 ⁽⁴⁾	
>300 práškový kotel	10 - 75	10 - 130 ⁽⁵⁾	25 - 110	25 - 165 ⁽³⁾	
>300 fluidní kotel ⁽¹⁾	20 - 75	20 - 180	25 - 110	50 - 220	

(1) Spodní hranice se dosáhne pomocí vysoce účinného mokrého odsíření, horní hranice může být dosaženo dávkováním sorbentu do lože kotle.

(2) V případě, že je zařízení provozované ve špičkovém režimu nebo jako záložní zdroj, emisní limity neplatí, max. 1500 h/rok

(3) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 7. ledna 2014 nebo provozováno více jak 1500 h/rok platí limit 220 mg/Nm³. Pro jiné zdroje uvedených do provozu nejpozději do 7. ledna 2014 platí emisní limit 205 mg/Nm³.

(4) V případě, že je zařízení uvedeno do provozu nejpozději do 7. ledna 2014, platí limit 250 mg/Nm³.

(5) Spodní hodnota rozsahu může být dosažena použitím nízkosirných paliv v kombinaci s mokrou metodou čištění spalin

(6) Uvedené emisní limity jsou orientační pro zdroje, které jsou v provozu více jak 500 h/rok

Pro případ, že zdroj > 300 MW nemůže splnit z technicko ekonomických důvodů uvedené emisní limity, platí empirické vzorce, počítané z koncentrace SO₂ (roční průměr) v surových spalinách.

▪ Emisní limity na koncentrace HCl a HF

Znečišťující látka	Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW _t)	Nový zdroj (mg/Nm ³)	Stávající zdroj (mg/Nm ³) ⁽¹⁾
HCl	> 100	< 1 - 3	< 1 - 5 ⁽²⁾⁽⁴⁾
	< 100	< 1 - 6	2 - 10 ⁽²⁾
HF	> 100	< 1 - 2	< 1 - 3 ⁽³⁾
	< 100	< 1 - 3	< 1 - 6 ⁽³⁾

(1) Nižší hodnoty uvedeného emisního limitu může být obtížně dosažitelné v případě zdroje vybaveného mokrou metodou odsíření a zpětného ohřevu spalin.

(2) Koncentrace v palivu větší jak 1000 mg/kg_{suš} nebo zdroj pracující ve špičkovém režimu, méně jak 1500 h/rok, platí emisní limit 20 mg/Nm³

(3) V případě, že je využito mokré vápencové metody s následným ohřevem spalin nebo fluidní technologie, a je zařízení provozováno ve špičkovém režimu nebo jako záložní zdroj, méně jak 1500 h/rok, platí emisní limit 7 mg/Nm³, Pro zařízení pracující méně než 500 hodin/rok jsou hodnoty orientační

(4) V případě že je zařízení, vybavených mokrou vápencovou metodou s navazujícím ohřevem spalin, konec rozsahu 7 mg/Nm³.

▪ Emisní limity na koncentrace Prach

Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW_t)	prach (mg/Nm^3)				monitoring
	nový zdroj	stávající zdroj ⁽¹⁾	nový zdroj	Stávající zdroj ⁽⁷⁾	
	roční průměr		denní průměr		
< 100	2 - 5	2 - 18	4 - 16	4 - 22 ⁽²⁾	Kontinuální měření
100 - 300	2 - 5	2 - 14	3 - 15	4 - 22 ⁽³⁾	
300 - 1000	2 - 5	2 - 10 ⁽⁴⁾	3 - 10	3 - 11 ⁽⁵⁾	
> 1000	2 - 5	2 - 8	3 - 10	3 - 11 ⁽⁶⁾	

(1) Tyto limity se nevztahují na spalovací zařízení provozovaná <1 500 h/rok.

(2) Vyšší hodnota emisního limitu je 28 mg/Nm^3 pro zařízení uvedená do provozu nejpozději do 7. ledna 2014

(3) Vyšší hodnota emisního limitu je 25 mg/Nm^3 pro zařízení uvedená do provozu nejpozději do 7. ledna 2014

(4) Vyšší hodnota emisního limitu je 12 mg/Nm^3 pro zařízení uvedená do provozu nejpozději do 7. ledna 2014

(5) Vyšší hodnota emisního limitu je 20 mg/Nm^3 pro zařízení uvedená do provozu nejpozději do 7. ledna 2014

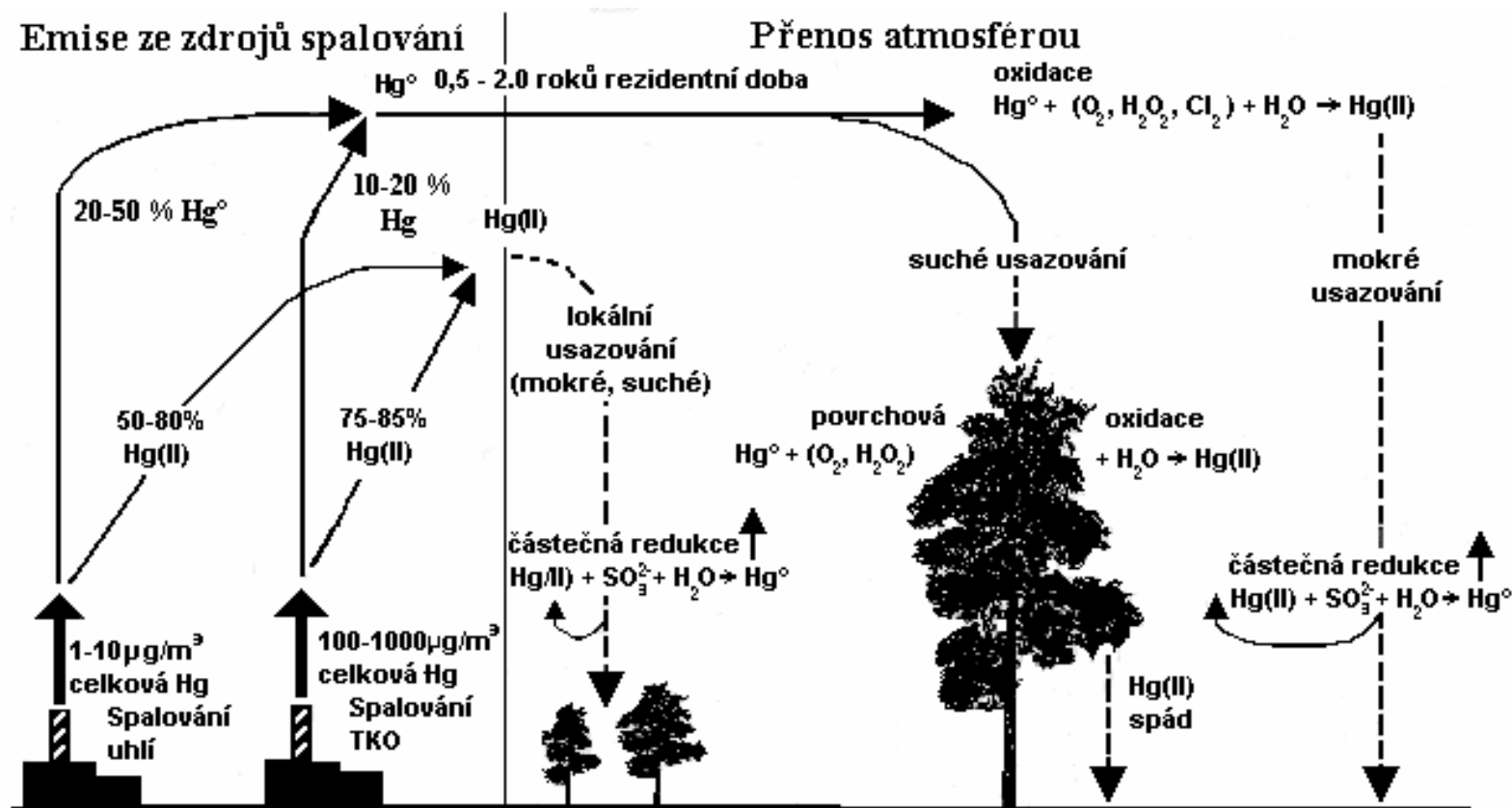
(6) Vyšší hodnota emisního limitu je 14 mg/Nm^3 pro zařízení uvedená do provozu nejpozději do 7. ledna 2014

(7) Uvedené emisní limity jsou orientační pro zdroje v provozu více jak 500 h/rok

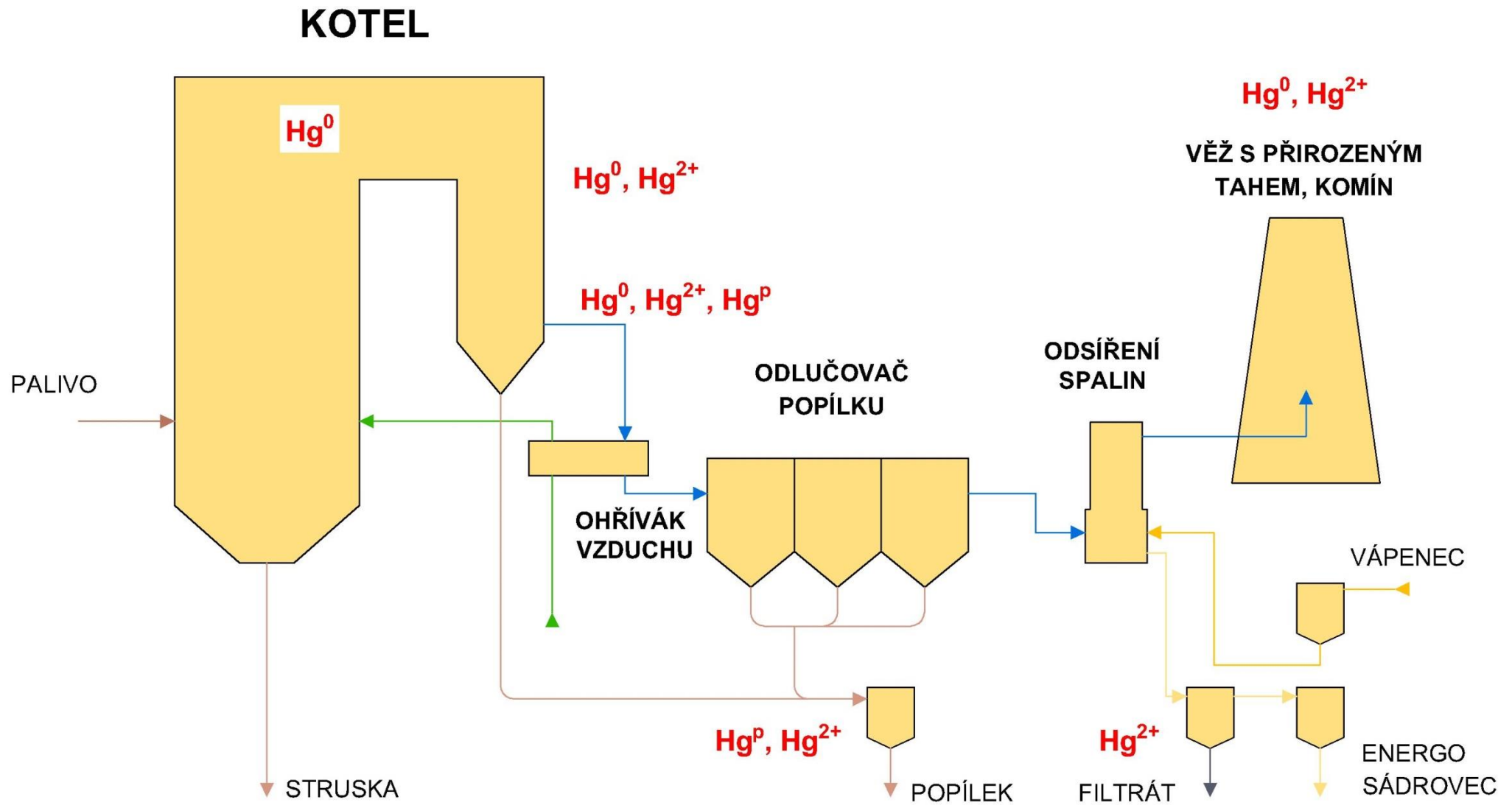
- Emisní limity na koncentrace Hg

Spalovací zařízení o jmenovitém tepelném příkonu (MW _t)	emise Hg (μg/Nm ³)		hodnocené období	monitoring
	nový zdroj	stávající zdroj		
uhlí: černé uhlí				
< 300	1 - 3	1 - 9	průměr vzorků získaných během jednoho roku	4 krát ročně
> 300	1 - 2	1 - 4 ⁽¹⁾	roční průměr	Kontinuální měření
uhlí: hnědé uhlí				
< 300	1 - 5	2 - 10	průměr vzorků získaných během jednoho roku	4 krát ročně
> 300	1 - 4	1 - 7 ⁽¹⁾	roční průměr	Kontinuální měření

- Nejen emisní limity na koncentrace Hg
- Environmentální problém – toxicita Hg, silný neurotoxin = bioakumulace
- Problém methyl-rtuť (MeHg) – do lidského těla formou potravy



Distribuce Hg



- **Analýza palivové základny** – koncentrace Hg a Cl – hnědé a černé uhlí
 - Hnědé uhlí – **0,200 – 0,600 mg/kg_{suš}**,
 - Černé uhlí – cca **0,100 mg/kg_{suš}**
 - Nejvyšší koncentrace uhlí z dolu Jiří – **0,5 až 0,7 mg/kg_{suš}**
- **Technologie transformace forem rtuti a samotného zachytu rtuti** aplikovatelné pro podmínky energetických zdrojů v České republice.
- **Měření na vybraných energetických zařízeních** s cílem určení distribuce jednotlivých forem rtuti. Jedná se o stanovení plynné formy rtuti Hg⁰, oxidované formy rtuti Hg²⁺ a formy rtuti vázané na tuhých částicích, popílků Hg^p.
- **Poloprovozní jednotka**, provedení měřících testů, ověření vhodnosti metody snížení koncentrace Hg

Technologie transformace a záchytu Hg



Technologie dle BAT	Primární určení	Poznámka
Látkový odlučovač	Technologie určené primárně pro snížení koncentrací TZL	Primární snížení jen formy Hg ^p vázané na popílek
Elektrostatický odlučovač popílku (ESP)	Technologie určená primárně pro snížení koncentrace TZL	Primární snížení jen formy Hg ^p vázané na popílek
SCR – selektivní katalytická redukce	Primárně určený pro snížení koncentrace emisí NO _x	Je nutné uvedenou technologii kombinovat s mokrou metodou odsíření spalin
Sorbent - Bromidy	Určení pro oxidaci Hg na oxidovanou formu	Dávkování do ohniště nebo před odlučovač popílku. Je nutné kombinaci s mokrým odsířením spalin.
Sorbent - aktivní uhlí	Záchyt Hg na povrchu sorbentu	Dávkování před odlučovač popílku v kombinaci s odsířením spalin pomocí polosuché metody



Project Hg - TAČR



Korozní problémy



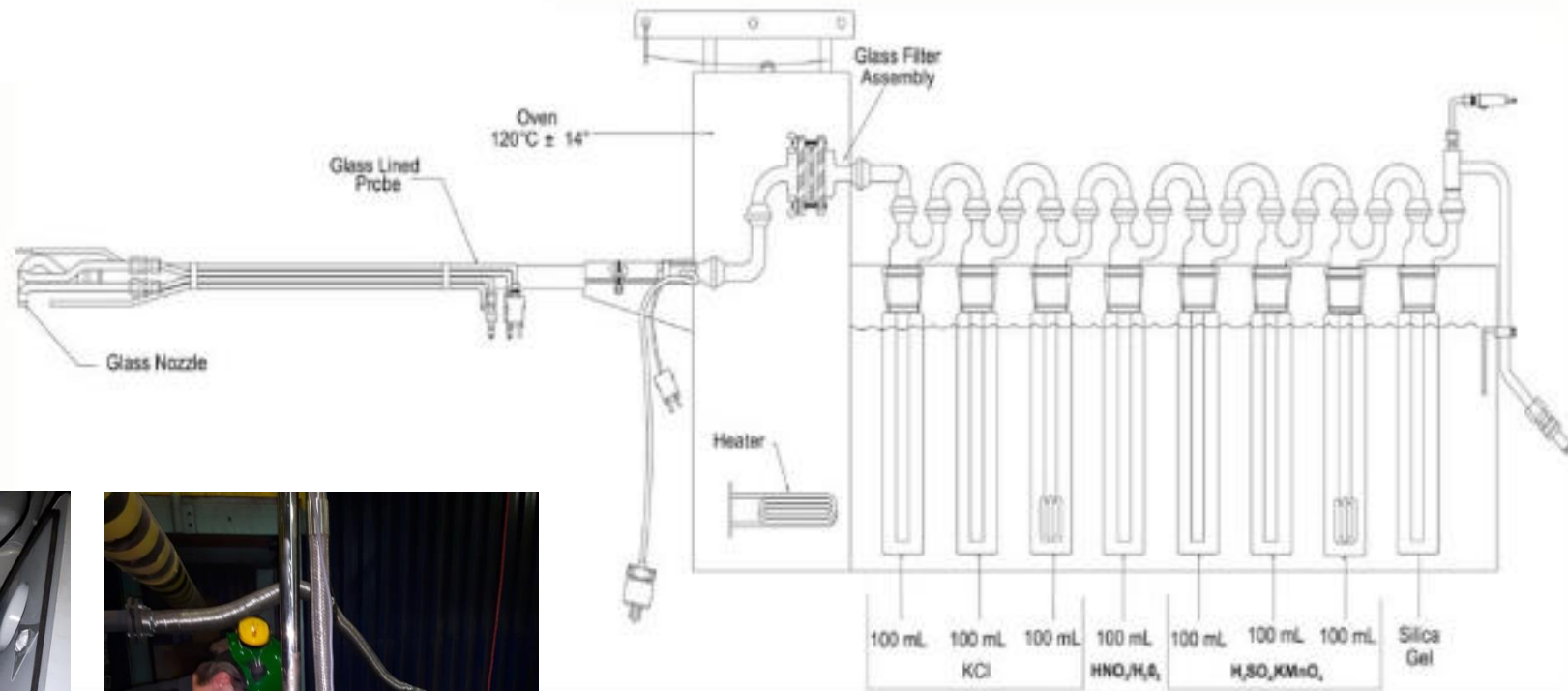
Nevhodné pro velké spalovací zdroje

Další sorbenty – zeolit, halloysit – **potencionální cesta - vyzkoušet**



- Pro určení jednotlivých podílů rtuti v emisích je možné využít jen metodu tzv. „Ontario Hydro“
- Jedná se jedinou standardizovanou metodu pro určení jednotlivých podílů
- Metoda je založena na izokinetickém odběru a na filtraci prachu
- Přesnost metody do **2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$**
- Velice náročné
- Plynný proud spalin zbavený prachových částic je veden do série osmi promývaček postupně plněných:
 - Vodný roztok chloridu draselného (3 promývačky) - **KCl**
 - Směsi kyseliny dusičné a peroxidu vodíku (1 promývačka) – **$\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$**
 - Roztokem manganistanu draselného v kyselině sírové (3 promývačky) – **$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$**
 - Silikagelem (1 promývačka)
- Rtuť nalezena v rozložených podílech:
 - Filtru – koncentrace **Hg^{P}**
 - V promývačkách s roztokem KCl – **Hg^{2+}**
 - Suma rtuti z promývaček $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ a $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ – **Hg^0**

Stanovení jednotlivých forem Hg ve spalinách



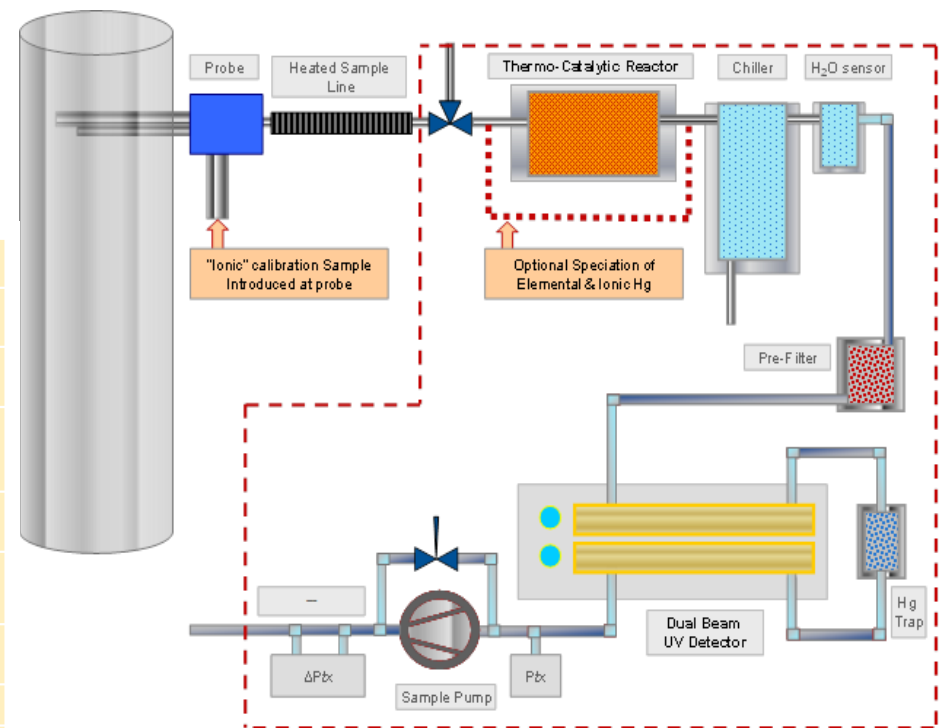
Měření koncentrace Hg – kontinuální měření



Princip analyzátorů

- měření je provedeno na základě atomové fluorescenční spektroskopie a tepelné konverzi iontových sloučenin rtuti do atomové rtuti.
- Analyzátor využívající princip tepelného reaktoru s katalyzátorem v suchém stavu, s následnou atomovou absorpční spektrometrií studených par CV AAS absorpcí ultrafialového záření.
- Problematika koncentrace SO₂
- Přesnost cca ± 3 µg/Nm³
- Parametry analyzátoru Verewa-Durag

measurements	total mercury	digital outputs	4 relay outputs, permissible load 250 V, 100 VA
measuring ranges	0–45 ... 0–500 µg/Nm ³	digital inputs	1 potential free outputs
measuring principle	UV-absorption	detection limit	<1 µg/Nm ³
flue gas temperature	0–250 °C	reference point drift	<2% of measuring range/month
flue gas pressure	-50 up to +50 hPa	zero point drift	automatic zero correction
duct diameter	>0.5 m	supply voltage	230 VAC, 50 Hz, 1200 VA, sample probe: 650 VA, sample line: 100 VA/m
ambient temperature	+5 bis +30°C	dimensions (h x w x d)	cabinet 1600 x 800 x 500 mm
protection	IP40 (IP55)	weight	220 kg
measuring outputs	2 x 0 / 4–20 mA/500 Ohm	purge air supply	pressurized air 3–6 bar
accuracy	<1% of measuring range		



▪ Černé uhlí - Elektrárna Dětmarovice

- V roce 2014 bylo provedeno měření distribuce Hg na bloku č. 2.
- Koncentrace jednotlivých forem Hg ve spalinách a zbytcích po spalování
- Měření bylo provedeno ve spolupráci s firmou ENERGOPOMIAR s. a. z Polska
- Využito metody „Ontario Hydro method“

▪ Hnědé uhlí - Elektrárna Tušimice

- Měření metodou „Ontario Hydro method“ – optimalizace měřicí aparatury
- Odběr vzorků tuhé fáze
- Získané znalosti převedeny na měření v Elektrárně Dětmarovice, blok č. 22

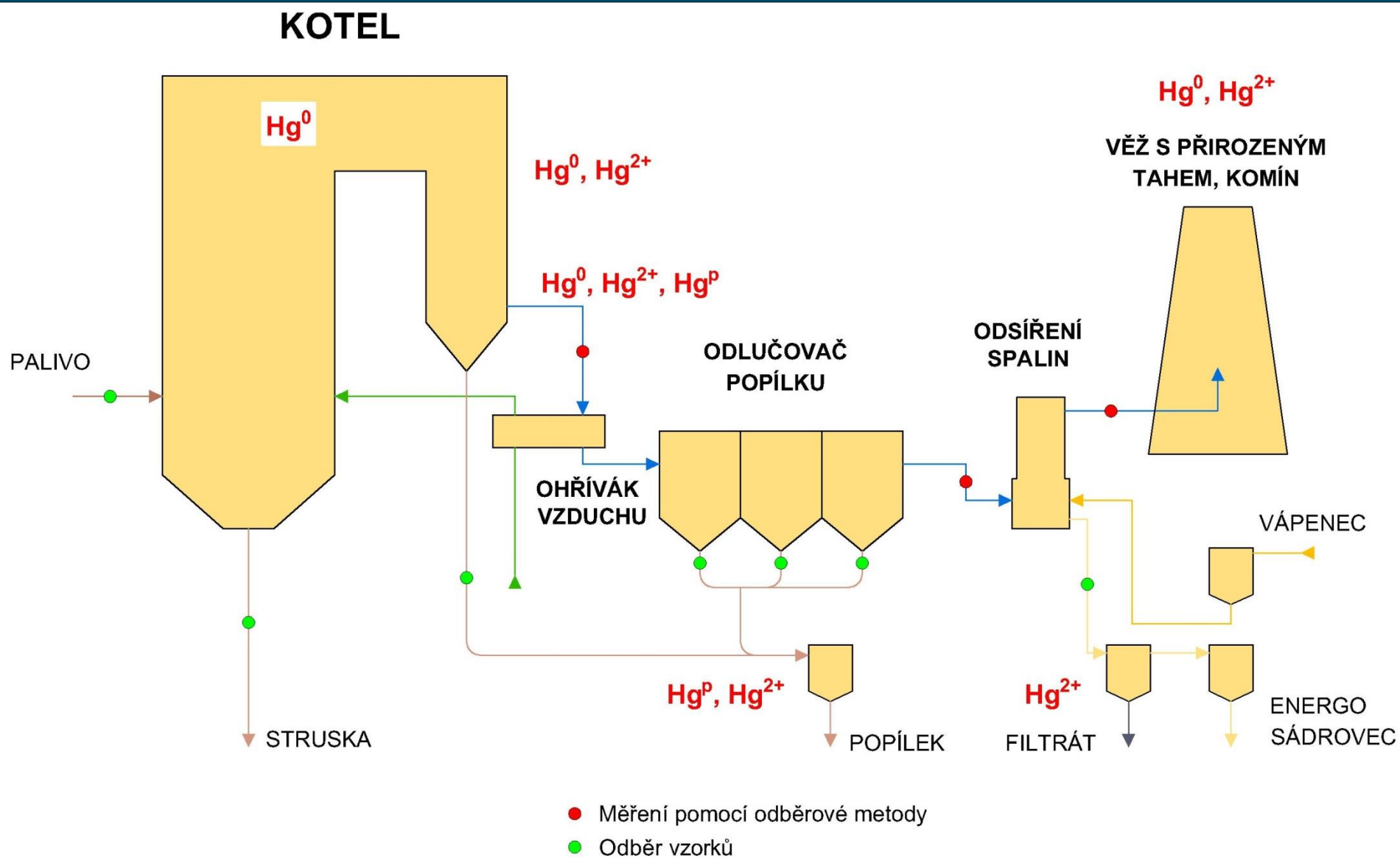
▪ Černé uhlí - Elektrárna Dětmarovice

- Měření bylo provedeno na zrekonstruovaném bloku – po instalaci technologie SCR – blok č. 3
- Možnost ověření oxidace Hg na vrstvě katalyzátoru
- Využito metoda „Ontario Hydro method“

- **Hnědé uhlí – Suchá aditivní metoda**
 - Kontinuální měření koncentrace Hg
 - Koncentrace Hg v palivu, ložovém popelu a popílku
 - Základní informace o distribuci Hg ve fluidním kotli

- **Hnědé uhlí – Polosuchá metoda**
 - Koncentrace jednotlivých forem Hg ve spalinách a zbytcích po spalování
 - Využito metody „Ontario Hydro method“
 - Kontinuální měření koncentrace Hg
 - Znalosti o polosuché metody odsíření spalin

Provedené měření koncentrace Hg



▪ Výsledky analýz spalin

- V průběhu měřících zkoušek byly odebírány vzorky **paliva**, **strusky**, **popílku** z pod ohříváku vzduchu, vzorky **popílku** z jednotlivých sekcí Elektrostatického odlučovače popílku a vzorek sádrovcové suspenze z technologie mokrého odsíření spalin.
- Pomocí izokinetického odběru byly odebírány spaliny před Elektrodlučovačem popílku, za elektrodlučovačem popílku a na výstupu z technologie odsíření spalin.

Výsledky měření	Bez SCR	S SCR
	%	
Před Elektrodlučovačem		
Hg ^p	46,70	-
Hg ²⁺	45,23	-
Hg ⁰	8,03	-
Za Elektrodlučovačem		
Hg ^p	0,04	0,07
Hg ²⁺	90,55	94,20
Hg ⁰	9,41	5,72
Za FGD - mokrá vápencová vypírka		
Hg ^p	0,21	0,30
Hg ²⁺	76,61	96,40
Hg ⁰	23,18	3,30

Výsledky měření	Bez SCR	S SCR
	%	
Účinnost záchytu Hg - EO	44,6	56,3
Účinnost záchytu Hg - FGD	25,3	33,4
Výsledky měření	Bez SCR	s SCR
	µg/Nm ³	
Koncentrace Hg – za FGD	5,94	5,44



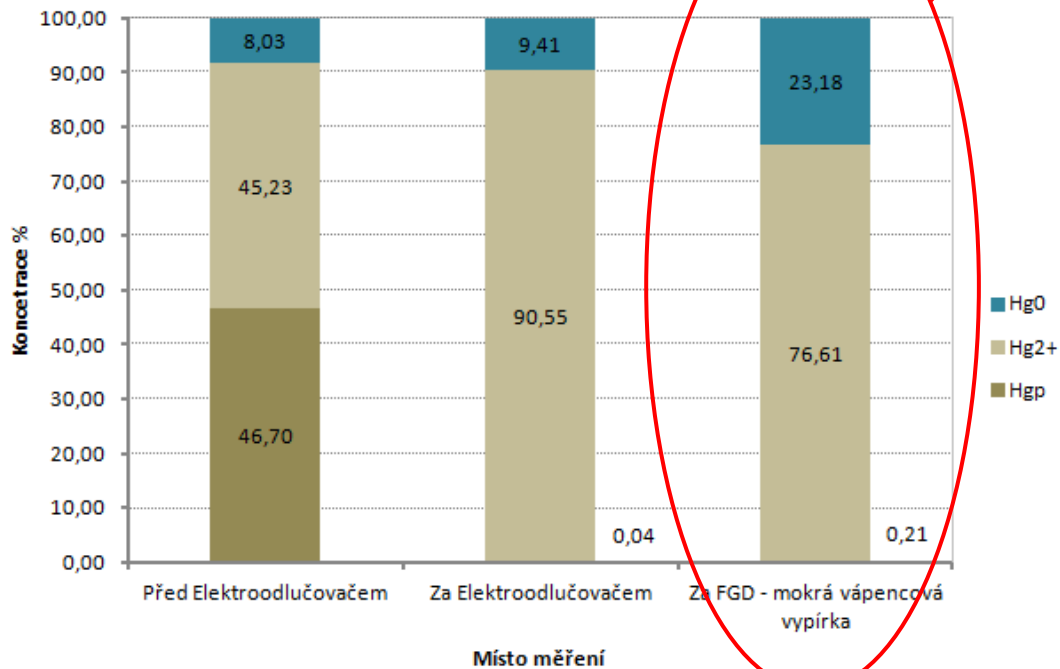
Emisní limit – černé uhlí dle BAT 4 µg/Nm³

Provedené měření koncentrace Hg - EDĚ

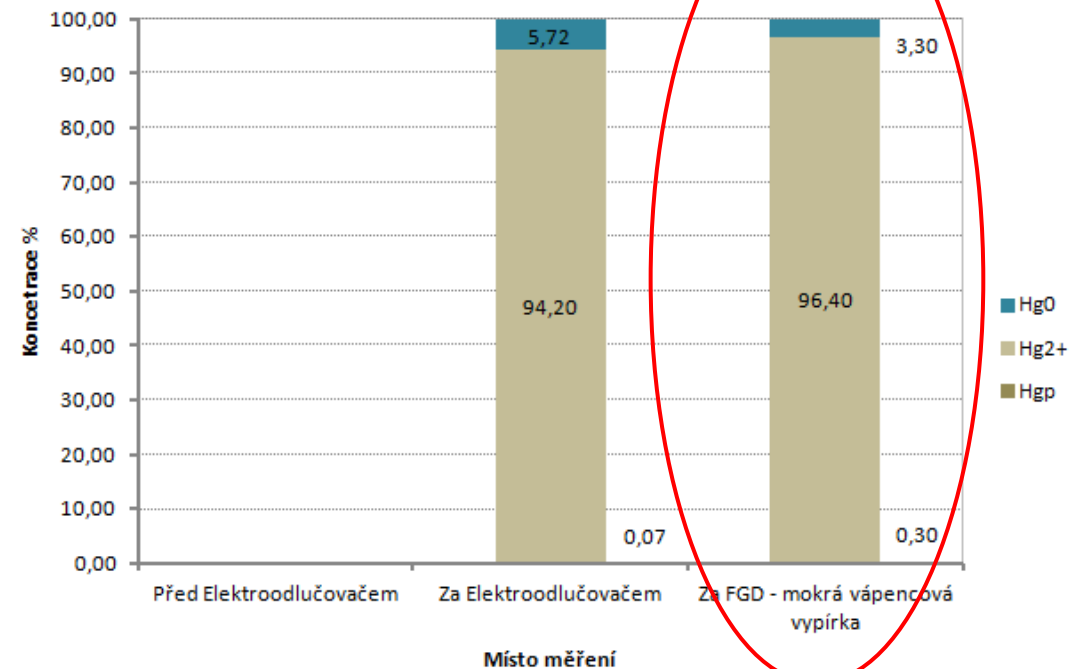


- Z uvedených dat je patrný vliv katalyzátoru na oxidaci Hg.
- Míra podílu Hg²⁺ je po instalaci SCR značná.
- Zvýšení efektivity záchytu je nutné optimalizace provozu absorbéru
- Je nutné uskutečnit další měření a prokázat získané výsledky

Měření EDĚ blok bez SCR



Měření EDĚ blok se SCR

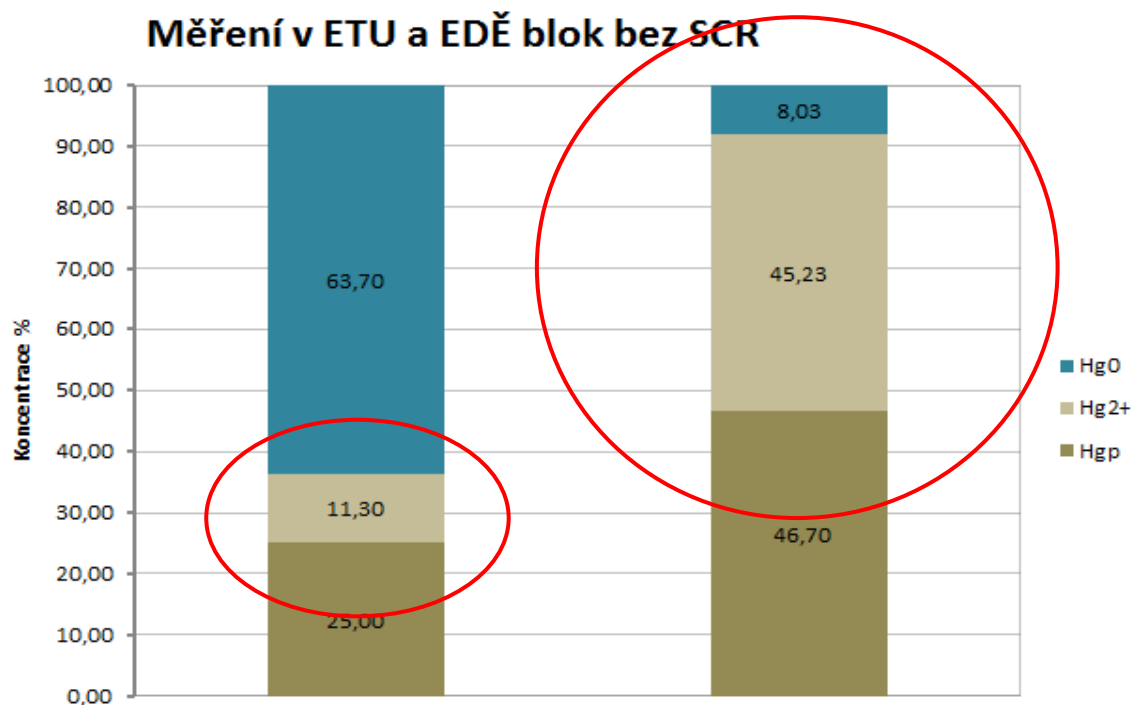


Provedené měření koncentrace Hg - ETU



■ Výsledky měření

- Koncentrace jednotlivých forem Hg, podíly, se diametrálně liší při spalování černého uhlí a hnědého uhlí
- Cl koncentrace ve spalinách (hnědé uhlí): **2 – 4 ppm** – za kotlem
- Hg koncentrace ve spalinách: **15 – 24 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$** za kotlem – limit **7 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$**



Test	Sekce ESP $\text{mg}/\text{kg}_{\text{suš}}$		
	Sekce I	Sekce II	Sekce III
Test č.1	0,100	0,240	0,420
Test č.2	0,112	0,340	0,334
Průměr	0,106	0,290	0,377

Test	Pod LJ $\text{mg}/\text{kg}_{\text{suš}}$	Palivo $\text{mg}/\text{kg}_{\text{suš}}$	Energo sádra $\text{mg}/\text{kg}_{\text{suš}}$	Filtrát $\mu\text{g}/\text{l}$
Test č.1	0,010	0,469	0,330	0,643
Test č.2	0,017	-	0,497	0,000
Průměr	0,013	0,469	0,414	0,322

Hnědé uhlí
konc. Cl **2 – 4 ppm**

Měření za kotlem

Mix černého uhlí
konc. Cl **50 - 80 ppm**

Provedené měření koncentrace Hg – Suchá aditivní metoda



■ Výsledky měření

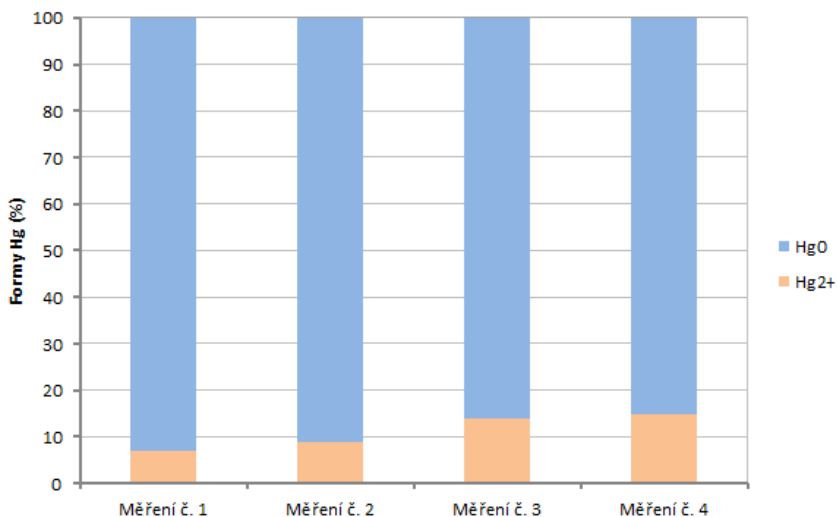
Palivo	Průměrné denní koncentrace Hg - změřené	Emisní limit dle BAT koncentrace Hg - roční	Průměrná koncentrace SO ₂
	μg/Nm ³	μg/Nm ³	mg/Nm ³
Hnědé uhlí/ biomasa	1,99	7,00	349,99
Hnědé uhlí/ biomasa	1,51	7,00	235,29
Hnědé uhlí/ biomasa	1,19	7,00	190,77
Hnědé uhlí/ biomasa	1,35	7,00	193,34
Hnědé uhlí/ biomasa	1,50	7,00	309,72
Hnědé uhlí	1,68	7,00	358,84
Hnědé uhlí	1,17	7,00	238,19
Hnědé uhlí	0,94	7,00	189,66
Hnědé uhlí	0,67	7,00	189,41
Hnědé uhlí	0,73	7,00	199,26
Hnědé uhlí	1,17	7,00	204,24

- Koncentrace pod mezí přesnosti přístroje, na základě bilancí je výsledná koncentrace kolem emisního limitu Hg
- Nutno provést další měření a i pomocí odběrové metody
- Emisní limit **7 μg/Nm³**
- Kombinace fluidního kotle a látkového odlučovače = polovina Hg oproti práškovému kotli

Provedené měření koncentrace Hg – polosuchá metoda



■ Výsledky měření



■ Více Hg v produktu



cirkulace produktu –
zahuštění koncentrace Hg

■ Emisní limit 7 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

Místo odběru	Koncentrace SO_2 (mg/Nm^3)	Koncentrace Hg kontinuál - průměr ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Koncentrace Hg odběr - průměr ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
Před odsířením		23,43	31,78
		26,60	34,90
		26,43	27,25
Za odsířením	400	23,79	21,58
		22,80	23,76
		23,16	21,72
Za odsířením	600	24,50	19,54
		25,38	19,12
		27,21	0,00
Za odsířením	800	19,16	15,97
		18,47	14,30
		20,59	23,35

Vzorek	Koncentrace Hg ($\text{mg}/\text{kg}_{\text{suš}}$)		
	Palivo	Popílek	Produkt
Vzorek č. 1	0,224	0,081	
Vzorek č. 2	0,323	0,094	1,84
Vzorek č. 3	0,243	0,054	1,81
Vzorek č. 4	0,225	0,145	1,55

▪ Hlavní parametry poloprovozní jednotky

Parametr	Jednotka	Hodnota
Množství vstupních spalin	Nm ³ /h	400
Teplota spalin na vstupu do jednotky	°C	300 - 350
Rozměr katalyzátoru		
Délka	mm	320
Šířka	mm	320
Výška	mm	700
Rychlost spalin procházející jednotkou	m/s	4,5
Rozměr bloku		
Délka	mm	1 400
Šířka	mm	1 400
Výška	mm	2 600
Hmotnost bloku	kg	570
Výkon jednotky (spalinový ventilátor)	kW	5
Výkon elektroohřevu spalin	kW	12



Poloprovozní jednotka



- Poloprovozní jednotka je umístěna v Elektrárně Tušimice blok č. 21 na podlaží +23.0 m – odběr spalin za ohřívákem vody, teplota spalin $>300^{\circ}\text{C}$



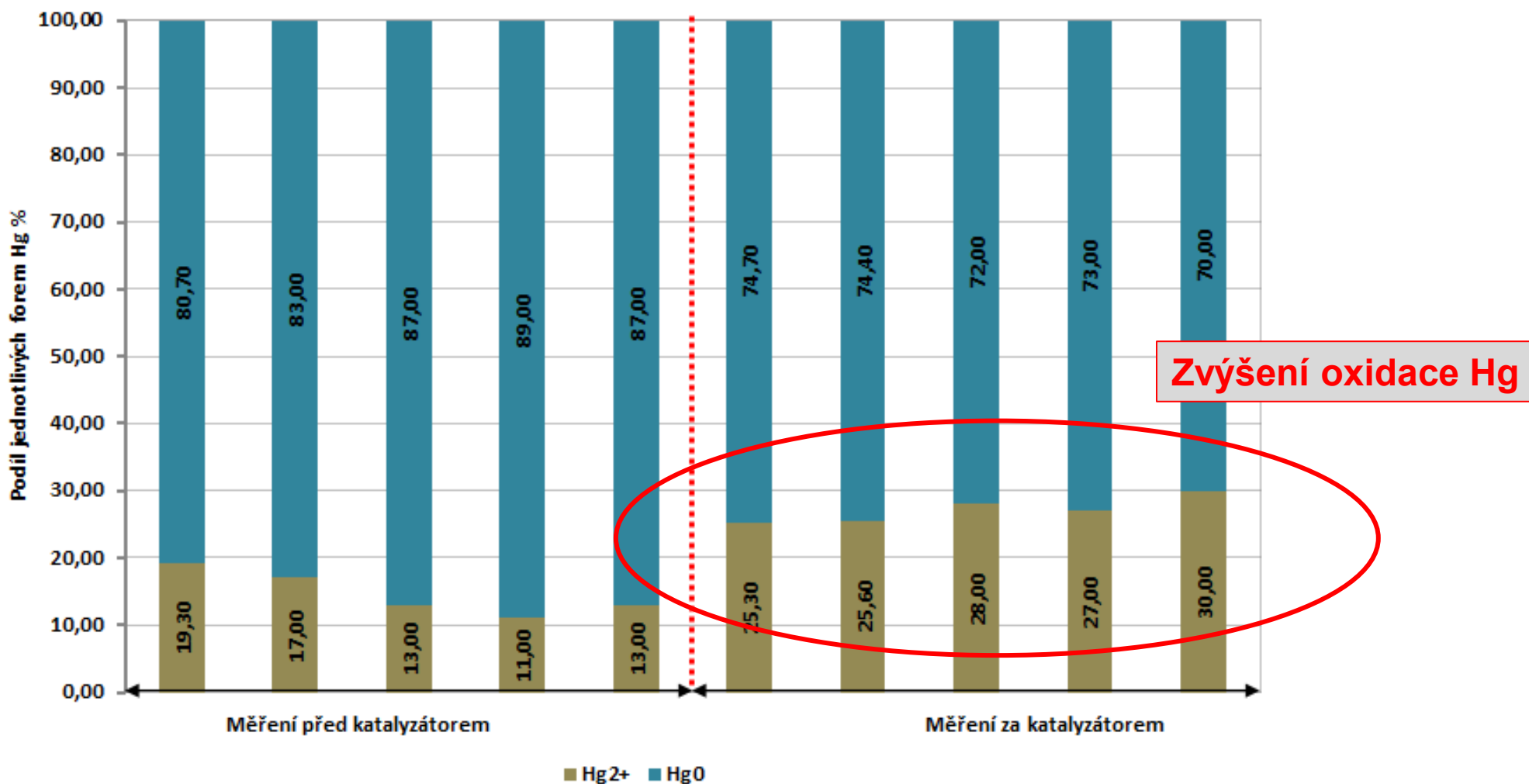
Poloprovozní jednotka – provedené měření



- Provedená série měření v ETU – teplota spalin na katalytické vrstvě **280°C** a **305°C**
- Současné měření koncentrace Hg před a za katalyzátorem – odběrová metoda „Ontario Hydro method“

Měření	Parametr	Před katalyzátorem	Za katalyzátorem	Teplota spalin °C	Změna podílu %	Koncentrace v $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
		%				
číslo 1	Hg ²⁺	19,30	25,30	305	6,00	15,60
	Hg ⁰	80,70	74,70			
číslo 2	Hg ²⁺	17,00	25,60	305	8,60	5,60
	Hg ⁰	83,00	74,40			
číslo 3	Hg ²⁺	13,00	28,00	280	15,00	25,00
	Hg ⁰	87,00	72,00			
číslo 4	Hg ²⁺	11,00	27,00	280	16,00	22,00
	Hg ⁰	89,00	73,00			
číslo 5	Hg ²⁺	13,00	30,00	280	17,00	24,00
	Hg ⁰	87,00	70,00			

- Podíly jednotlivých forem Hg před a za katalytickou vrstvou



Další postup prací – nejen projekt TAČR – splnění limitů dle BAT



- Provedení série měření na poloprovodní jednotce a tím ověření vhodné technologie určené k zachytu/transformaci rtuti pro podmínky vybraných energetických zdrojů v České republice – získání reprezentativního souboru dat – **ukončení projektu TAČR**
- Provedení dalších měření koncentrací Hg na jiných zdrojích – co zdroj, co kotel jiné chování Hg
 - Fluidní technologie – distribuce Hg při využití suché aditivní metody odsíření spalin
 - Distribuce Hg při polosuché metodě odsíření spalin
 - Distribuce Hg při mokré metodě odsíření spalin – měření REDOX potenciálu, pH, teploty
- Experimentální testy s dávkováním sorbentů – sorpce na povrchu částic, zvýšení oxidace Hg
- Optimalizace DeSO₂ technologií

Děkuji Vám za pozornost



www.ujv.cz

Při zpracování příspěvku byly využity poznatky získané při řešení projektu TAČR číslo
TA04020723