

# Online CFD, nový přístup teplotně řízené SNCR v elektrárenských kotlích s výsledky, porovnáním oproti standardnímu řízení a příklady z provozu uhelné elektrárny 195 MWe Evonik MKV ve Völklingenu

**Alexander C. Hanf**

Powitec Intelligent Technologies GmbH  
Im Teelbruch 134b  
45219 Essen, Germany  
Tel: +49.2054.937 62-0  
Email: sales@powitec.de  
www.powitec.de

**Pavel Tomek**

Oschatz Bohemia s.r.o  
U tří lvů 12  
370 01 České Budějovice  
Česká Republika  
Tel: 386 799 066  
Email: ptomek@oschatz.cz  
www.oschatz.com

# Evonik, MKV Fenne, Völklingen:

◆ MKV

◆ SNCR

◆ Signals

◆ Sensors

◆ Online CFD

◆ Control

◆ Results



Uvedení do provozu:	1982
Hrubý výkon turbíny:	195 MW
Čistý výkon:	175 MW
Tepelný výkon:	150 MW
Palivo:	balastní uhlí, důlní plyn, těžký olej, vysokopeční plyn
Výkon plynové turbíny:	35 MW
Tepelný výkon:	60 MW

## Parametry parní turbíny:

Přehřátá pára	190 bar / 532 °C
Přihřátá pára	43 bar / 532 °C
Nízkotlaká pára	2,2 bar / 172 °C

## Filosofie redukce NOx:

### Primární opatření k redukci NOx

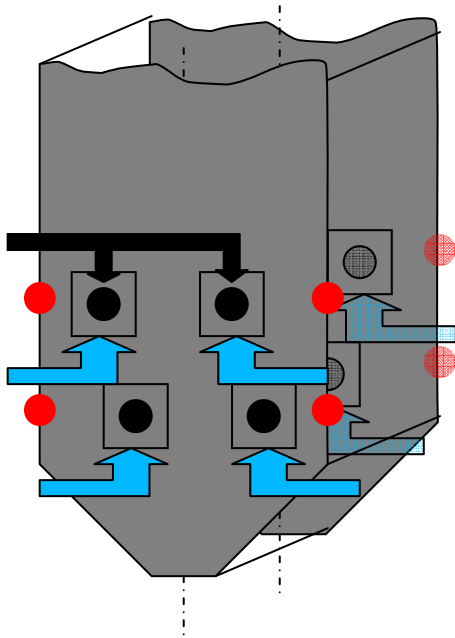
- ◆ Optimalizace poměru vzduchu/paliva pomocí **PiT Navigatoru** s cílem **redukce vzniku NOx** (stupňový přístup vzduchu, stupňový přívod paliva, “správná” lambda)

### Sekundární opatření k redukci NOx

- ◆ Čištění spalin díky **technologii SNCR** při optimální teplotní úrovni a množství vstřiku
- ◆ Eventuelní **instalace SCR** jako bezpečnostního katalyzátoru (při větším průřezu spalovací komory a/nebo požadovaných nižších hodnotách úletu nezreagovaného čpavku)

# Evonik, MKV Fenne, Völklingen:

- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



- 8 PiT Multisenzor
- 8 x Sekundární vzduch
- 4 x Uhelný mlýn

Přesazené vystřídané spalování s 8 nízkoemisními-NOx hořáky  
ve vystřídaném, protilehlém uspořádání ve 4 úrovních

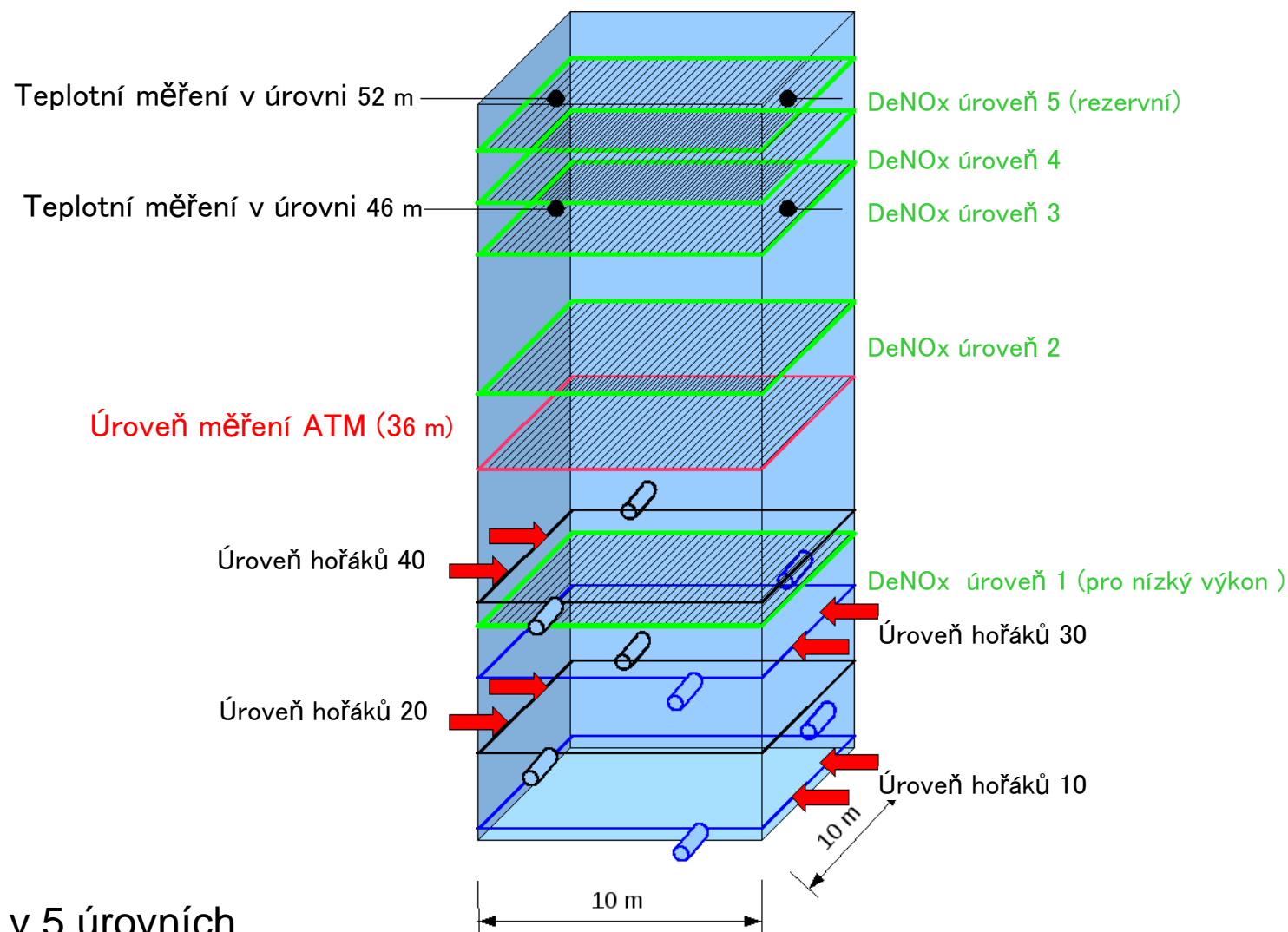
Limitní hodnota NOx:	290 mg/Nm <sup>3</sup>
Lambda hodnota na hořácích:	0.8
Celková lambda při plném výkonu:	1.18

Optimalizace spalování Powitecem od roku 2005

- ◆ PiT Navigator: Kombinace analýzy toku uhlénoho prášku a plamene se samovýukovým a adaptabilním softwarem
- ◆ (hlavní) výsledky:
  - Zvýšená účinnost (redukce O<sub>2</sub>)
  - Primární redukce NOx (-50 až -180 mg/Nm<sup>3</sup>), díky homogennímu spalování
  - Amortizace < 2 roky

# MKV Fenne: Instalace SNCR (cizí dodavatel)

- ◆ MKV
- ◆ **SNCR**
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



62 dýz v 5 úrovních

Vstřík čpavkové vody (25%) do spalovací komory mezi 950 a 1050 °C

## Cíle SNCR pro MKV Fenne:

- Udržení limitu NO<sub>x</sub> pod 290 mg/Nm<sup>3</sup> (základ)
- Co nejmenší množství vstřiku reagentu
- Co nejmenší množství úletu nezreagovaného čpavku (t.z. skluz)

## Z těchto cílů vyplývají opatření a úkoly:

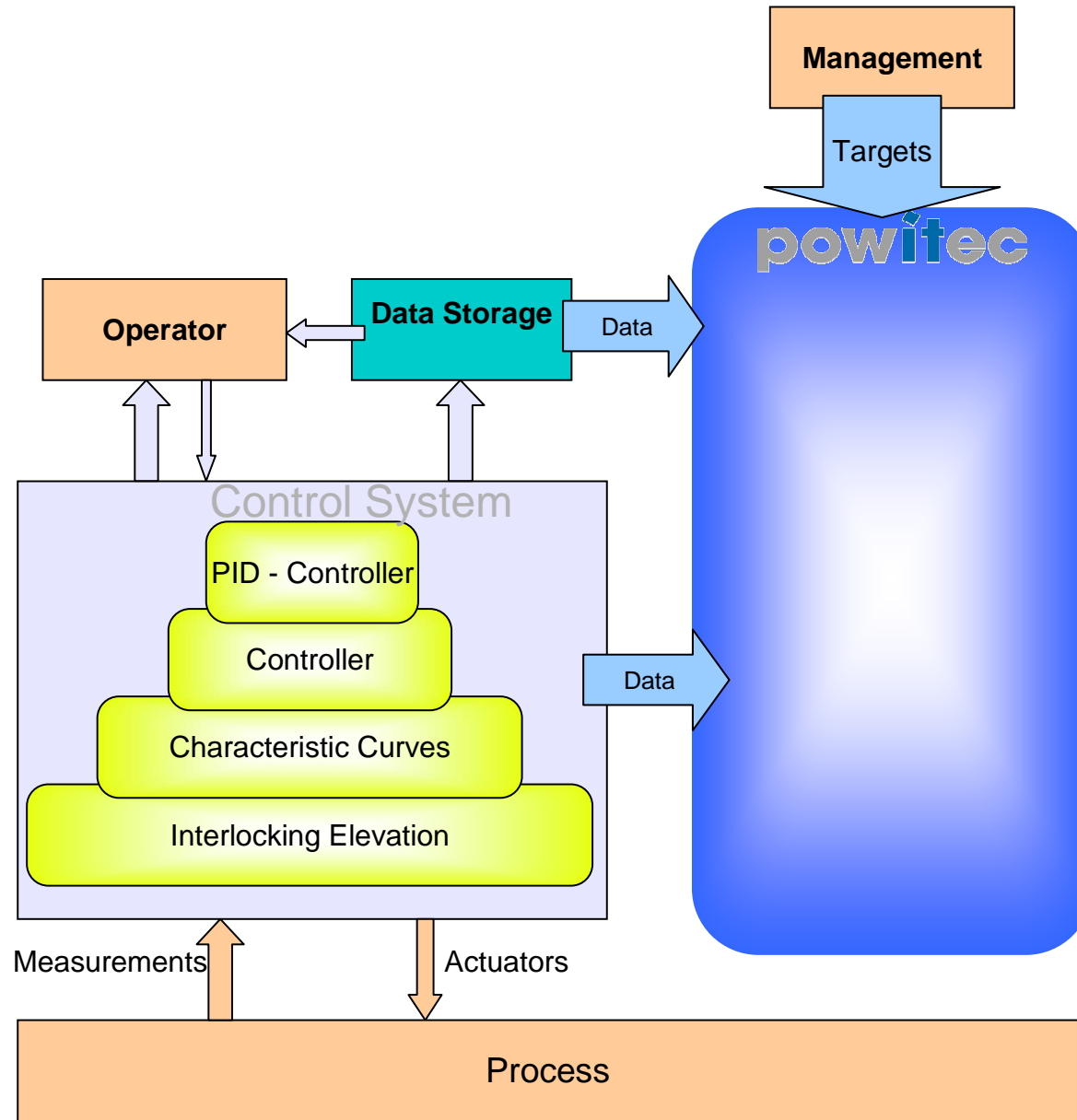
- Nalezení optimálního teplotního okna
- Vstřik
  - správného množství reagentu
  - do správného místa
  - ve správném čase
  - při správné teplotě

## Powitec filosofie SNCR:

1. Použití existujících procesních signálů ze **stávajícího** řídicího systému
2. Doplnění přídavných **senzorů** (tam, kde je to zapotřebí) k vylepšení znázornění a zobrazení
3. Generace online informací o rozložení teplot a rychlosti spalin (**Online-CFD**) v celém prvním tahu
4. Neustálá **online kalibrace** teoretického modelu s provozními hodnotami
5. Zjištění teplot a objemu dosažitelných každou SNCR-dýzou
6. Možnost / aktivace SNCR-dýzy ve vhodném teplotním okně spalin = **optimalizace řízení**

# 1. Použití stávajících procesních dat:

- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ **Signals**
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



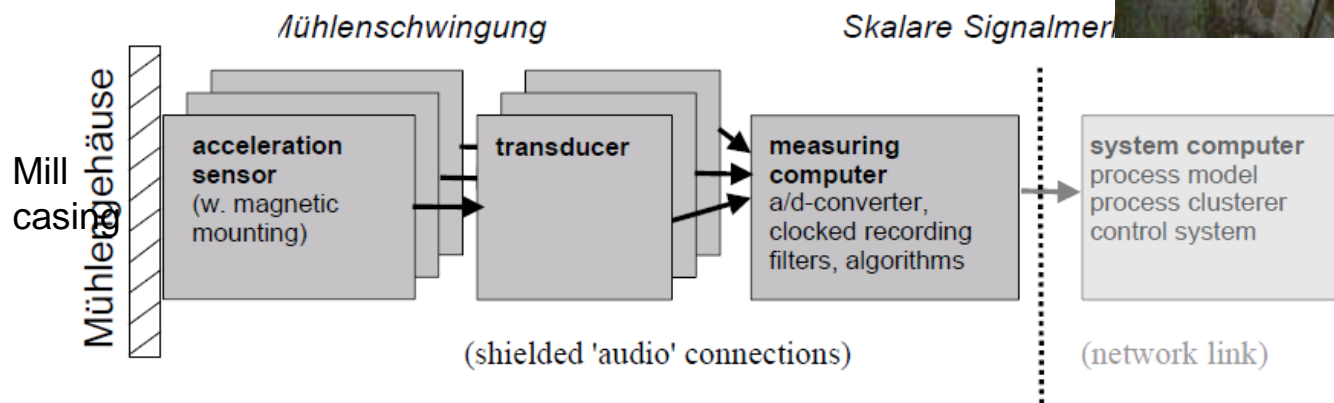
## 2. Kompletace dodatečnými senzory:

### a) PiT VibraSensor

- 1-2 senzory na každý mlýn, 1 na tříděč, 1 na každé potrubí
- Robustní piezo-keramický senzor průmyslového využití
- Pozice určena následujícími pokusy, upevněnými magnety na místech <math>< 160^{\circ}\text{C}</math>
- Vzorkování 10kHz, 16bit
- Zpracování dat spektrální analýzou (koncentrací), statistických momentů a korelační analýzou (**Vzájemná optimalizace informací**)
- Separátní server pro akustickou analýzu

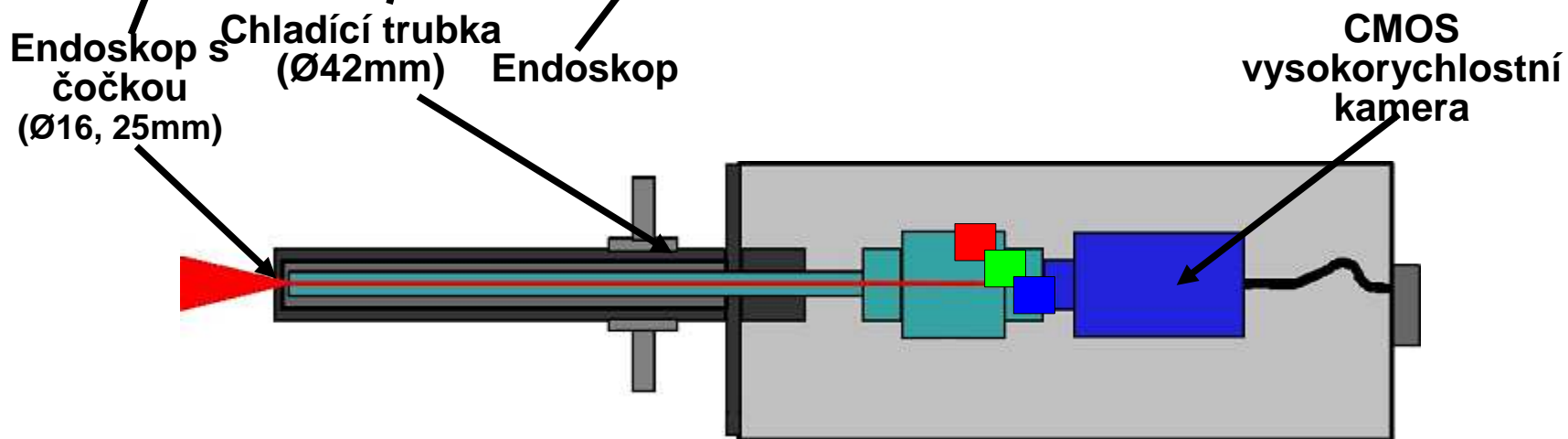
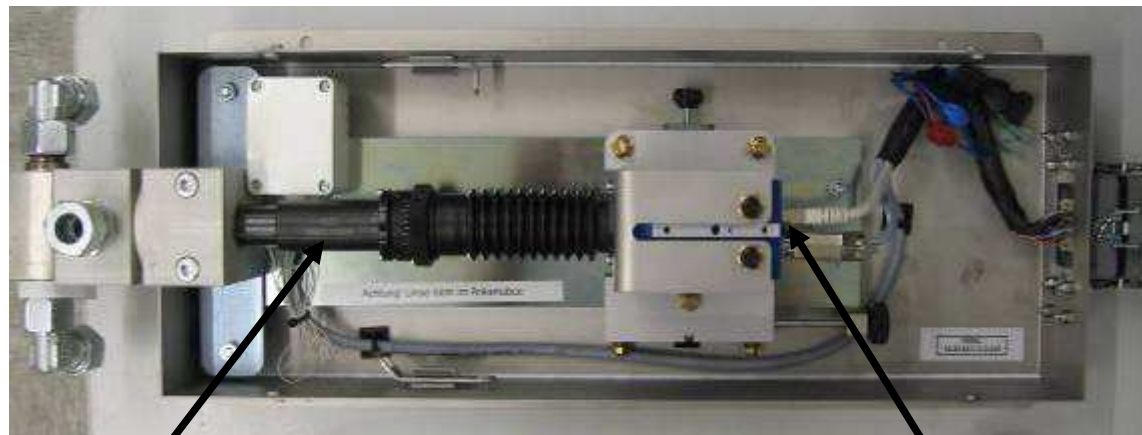
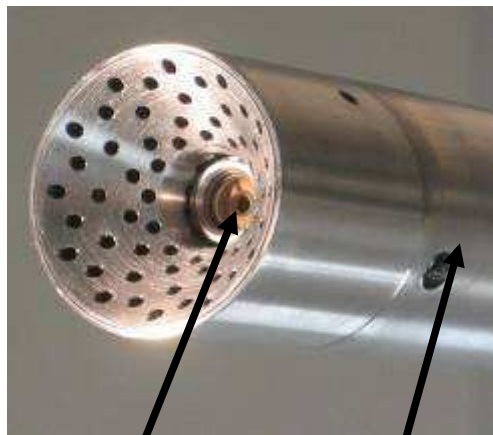


- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ **Sensors**
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



## 2. Doplnění dodatečnými senzory: b) PiT Multisensor (termografie)

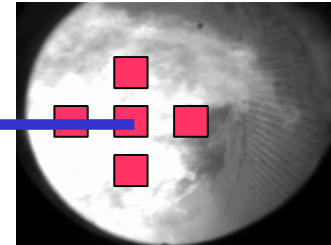
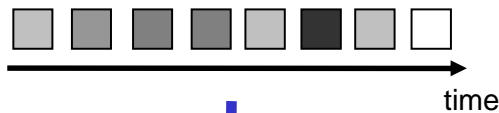
- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ **Sensors**
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



# Informace z plamene v korelaci s DCS-daty

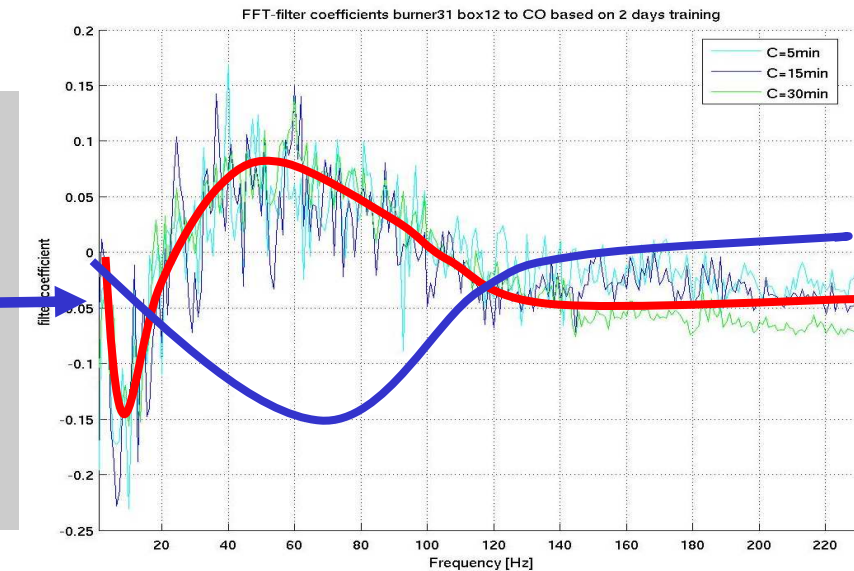
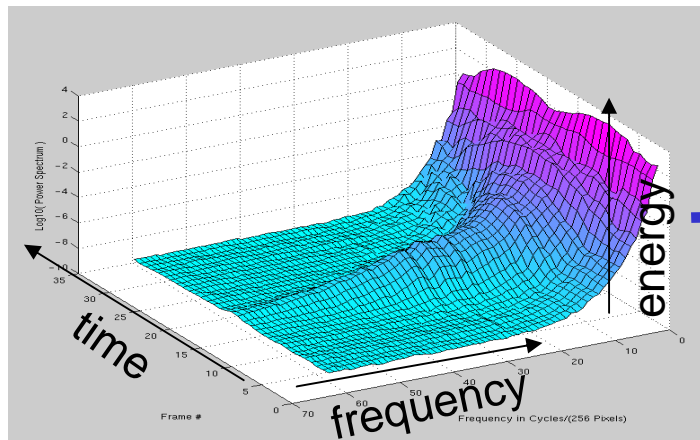
- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ **Sensors**
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results

Vysokorychlostní frekvence  
hodnot šedivého spektra



hořák,  
1 z x

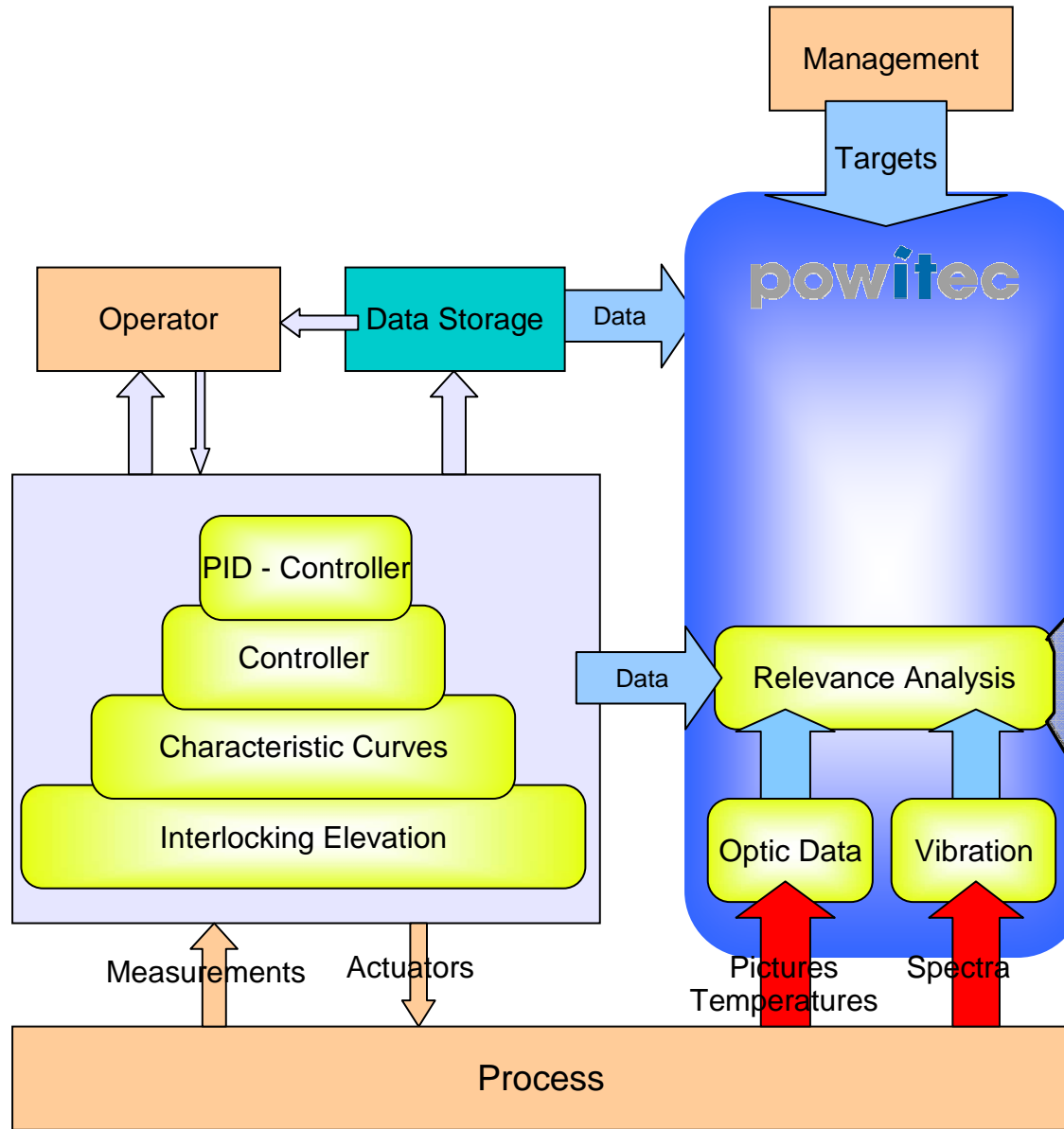
Výpočet spektra  
energie  
(použitím FFT)



NOx  
CO

## 2. Kompletace s dodatečnými senzory:

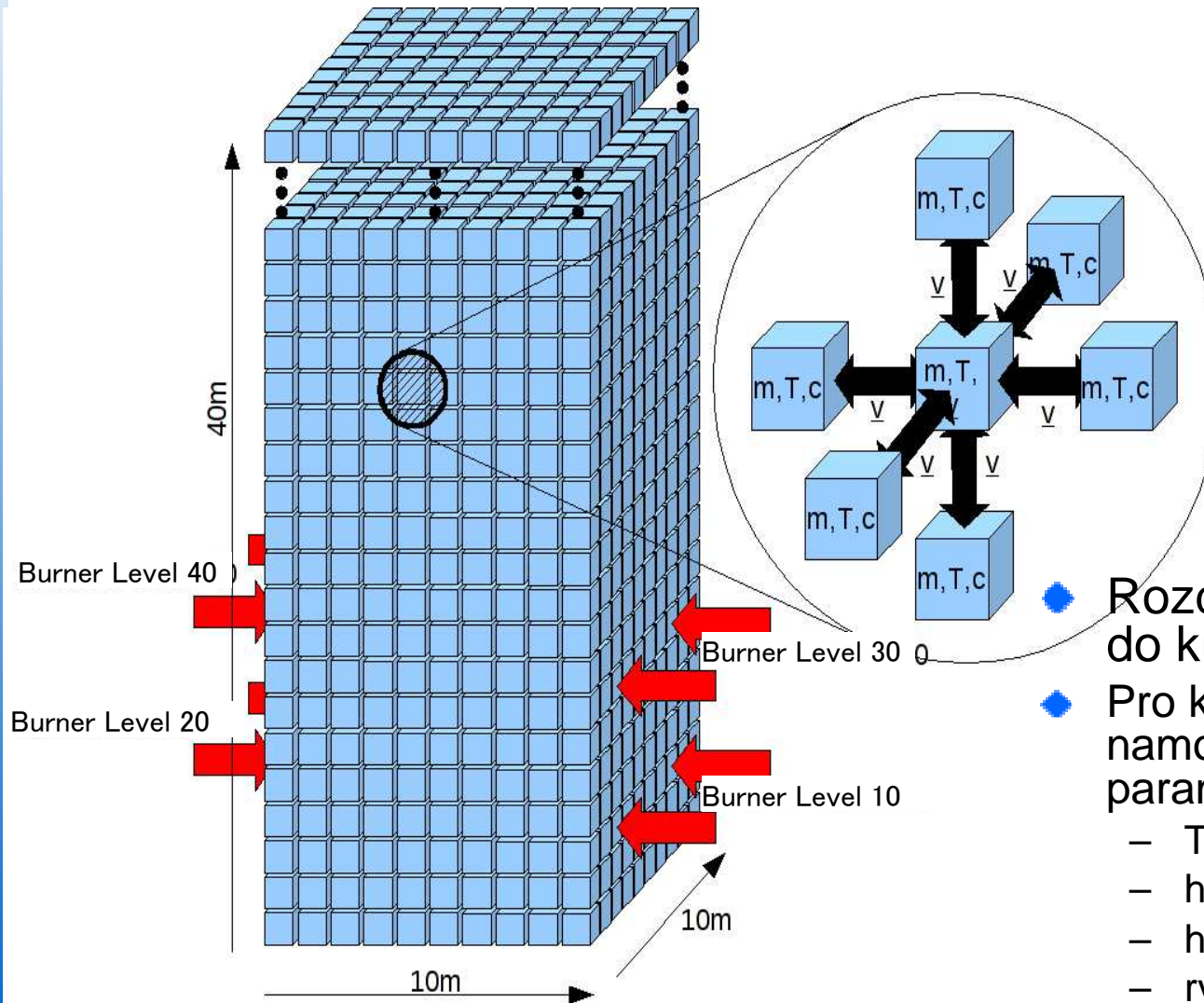
- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ **Sensors**
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



- Možnost automatické extrakce a selekce
- Výhoda dvoucestného ovlivnění
- Závislost čistě na datech, (žádné předem zadané charakteristiky)
- Kalkulace informací mezi jednotlivými hodnotami

### 3. Online CFD: 3D-teplotní simulace v reálném čase

- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ **Online CFD**
- ◆ Control
- ◆ Results

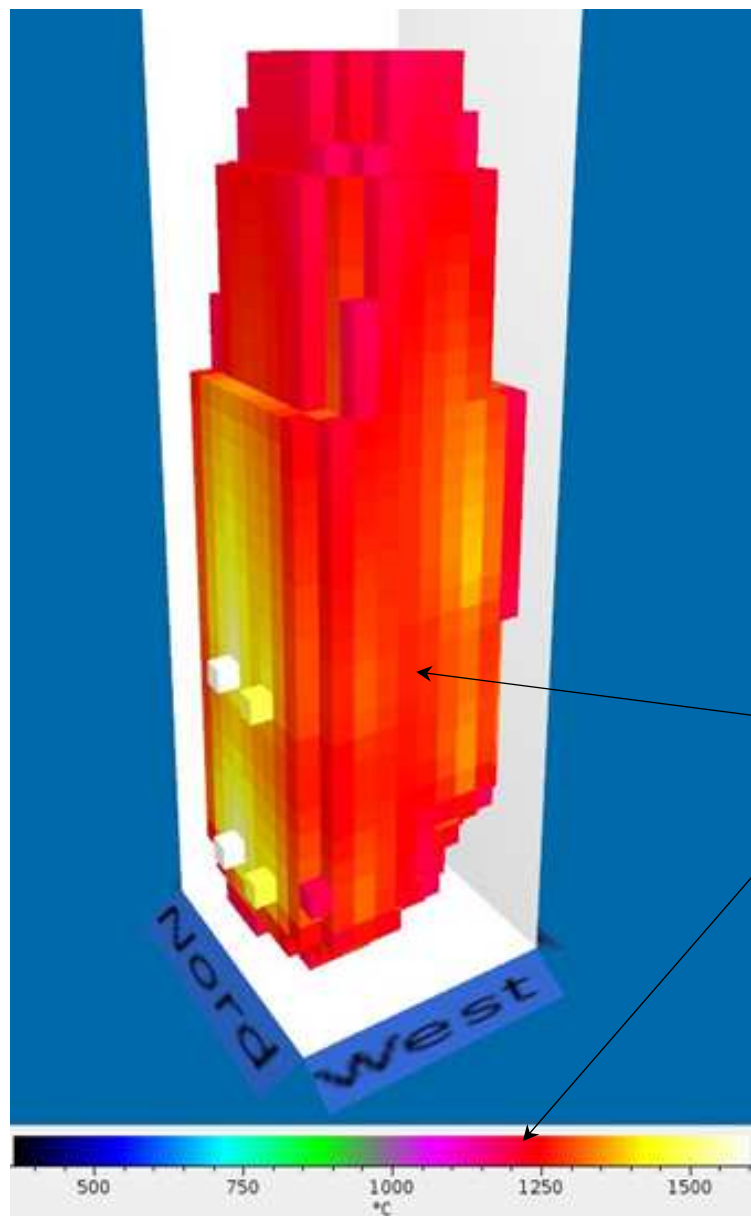


- ◆ Rozdělení prvního tahu do krychliček (Box)
- ◆ Pro každou z nich jsou namodelovány tyto parametry spalin:
  - Teplota
  - hmotnost
  - hustota
  - rychlost ve směru x, y a z

### 3. Obrázek z Online-CFD<sup>®</sup> teplotní analýzi

Obnovován každých 15 sekund

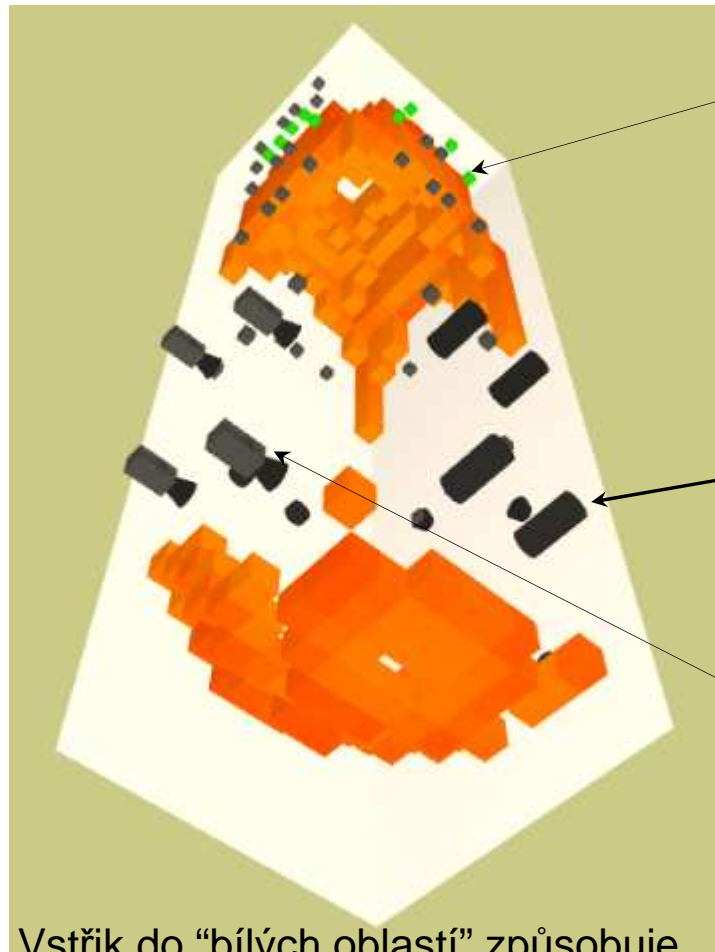
- ◆ MKV
- ◆ **SNCR**
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



Každá barva ukazuje teplotu

Pouze teploty mezi 900 a 1000°C mohou být zobrazeny – optimální teplotní okno pro vstřik reagentu

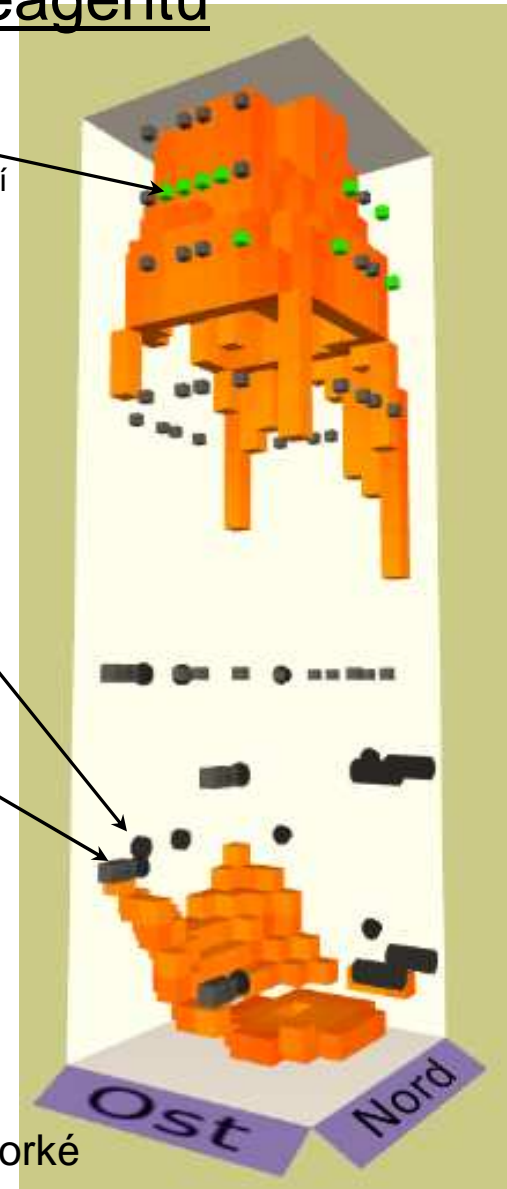
- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ **Online CFD**
- ◆ Control
- ◆ Results



SNCR kopí  
zelená jsou aktivní

Hořák

PiT Multisensor

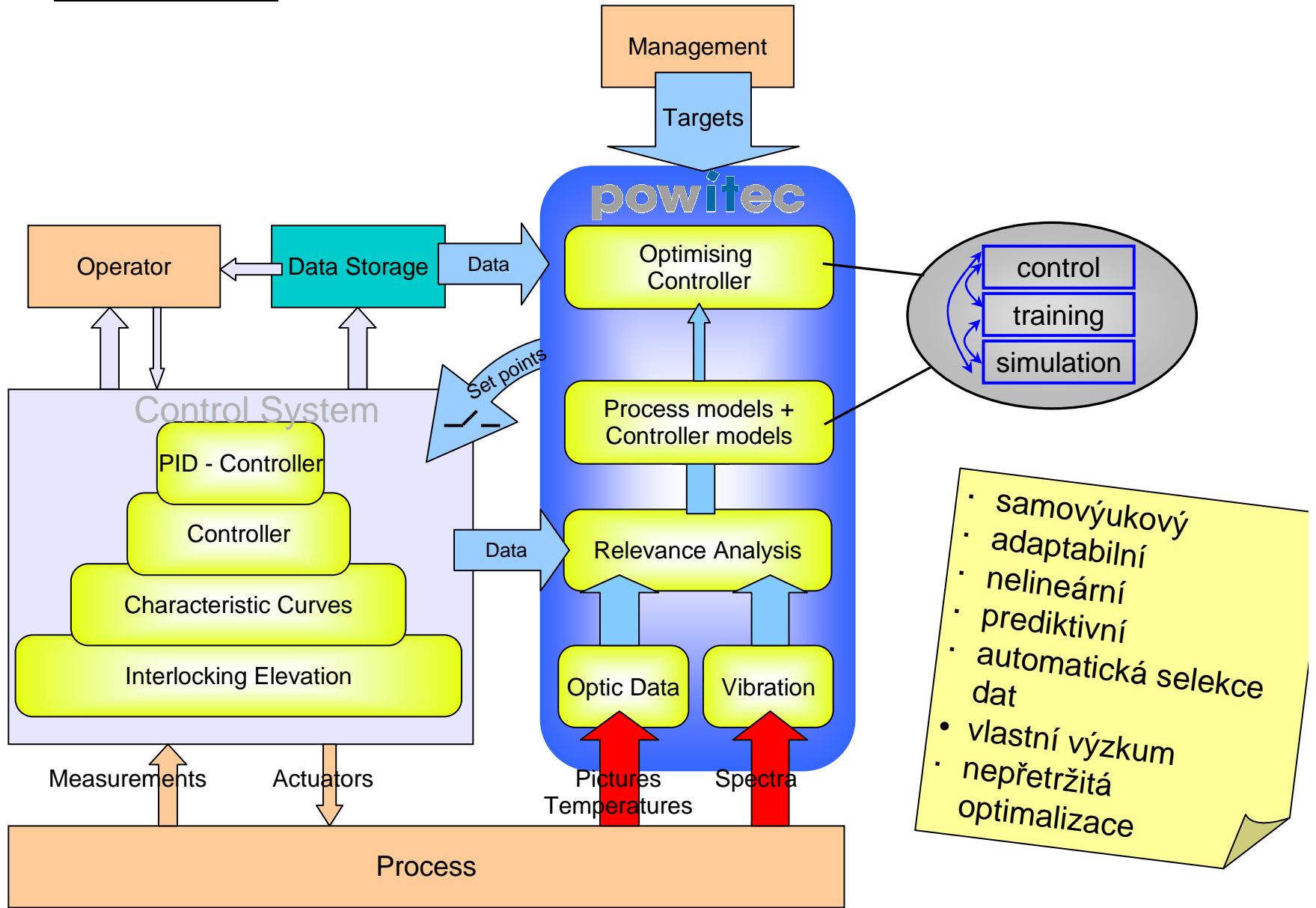


Vstřik do “bílých oblastí” způsobuje

- skluz protože spaliny jsou chladné ( $< 900^{\circ}\text{C}$ ) nebo
- dodatečný vznik NOx protože spaliny jsou příliš horké ( $> 1.000^{\circ}\text{C}$ )

# 4. Řízení

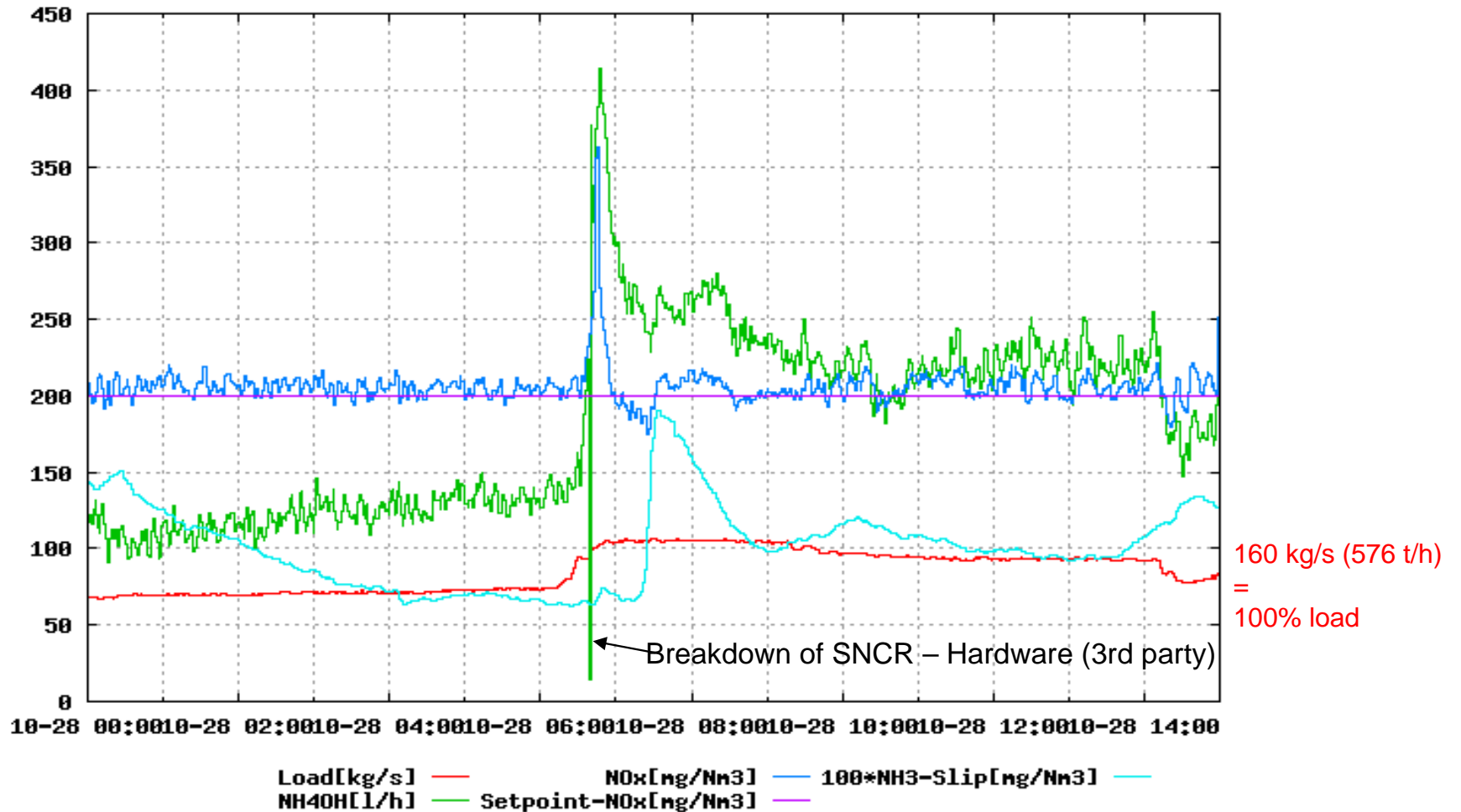
- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ **Control**
- ◆ Results



# MKV Fenne: záznam z 14 hodin provozu

PiT Navigator SNCR drží **aktuální hodnoty NOx** (modrá linie) co nejlíže **nastavené hodnotě** (fialová) řízením **množství NH4OH** (zelená). **NH3 skluz** (azurová) zůstává na velmi nízké úrovni (<2 mg / Nm<sup>3</sup>). Vše funguje i při různých **výkonech kotle** (červená)

- ◆ MKV
- ◆ SNCR
- ◆ Signals
- ◆ Sensors
- ◆ Online CFD
- ◆ Control
- ◆ Results



## Souhrn a výhled:

### **Powitec-SNCR-řízení:**

- ◆ 3D Online model teplotního pole
- ◆ Rozdělení prvního tahu na krychličky
- ◆ Model teploty, hmotnosti, hustoty a rychlosti na základě fyzikálních zákonů, iterační řešení na základě systému rovnic
- ◆ Přizpůsobení skutečným provozním hodnotám díky zapracování naměřených hodnot

### **Výsledky:**

- ◆ Jednotlivé SNCR dýzi jsou aktivovány ve vhodném teplotním okně spalin
- ◆ Zachování emisního limitu redukcí skluzu redukcí spotřeby (pávkové vody)
- ◆ Inovativní teplotně řízené SNCR snižující provozní náklady