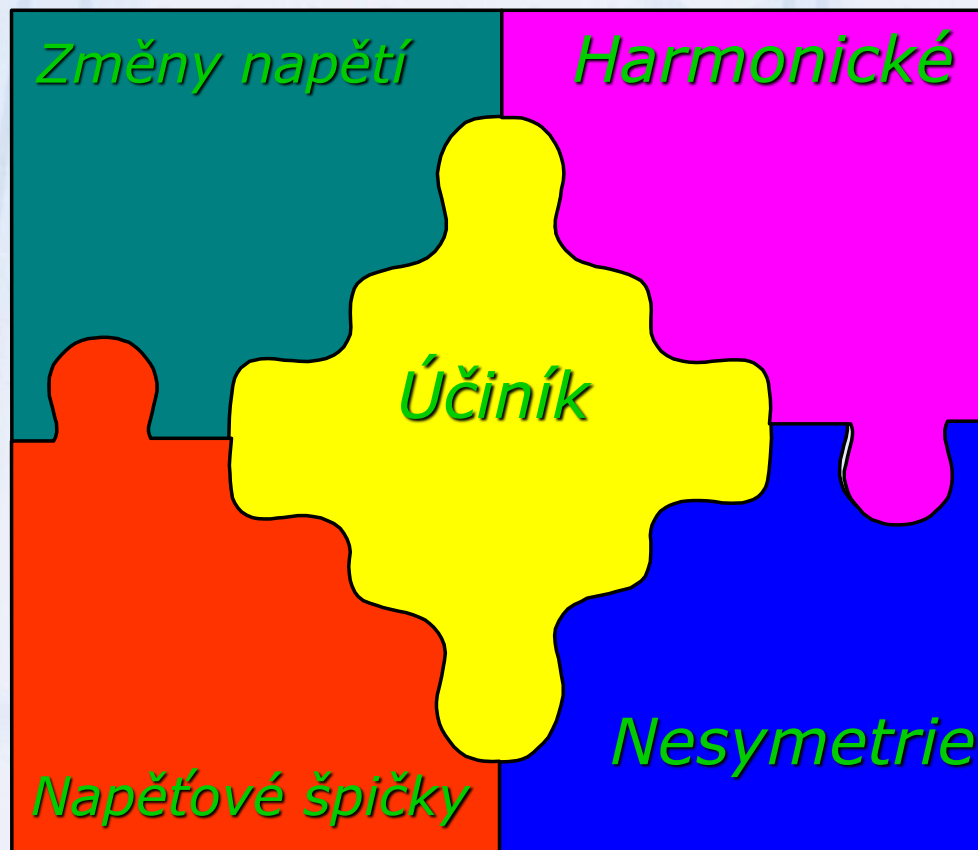


# Kvalita elektřiny

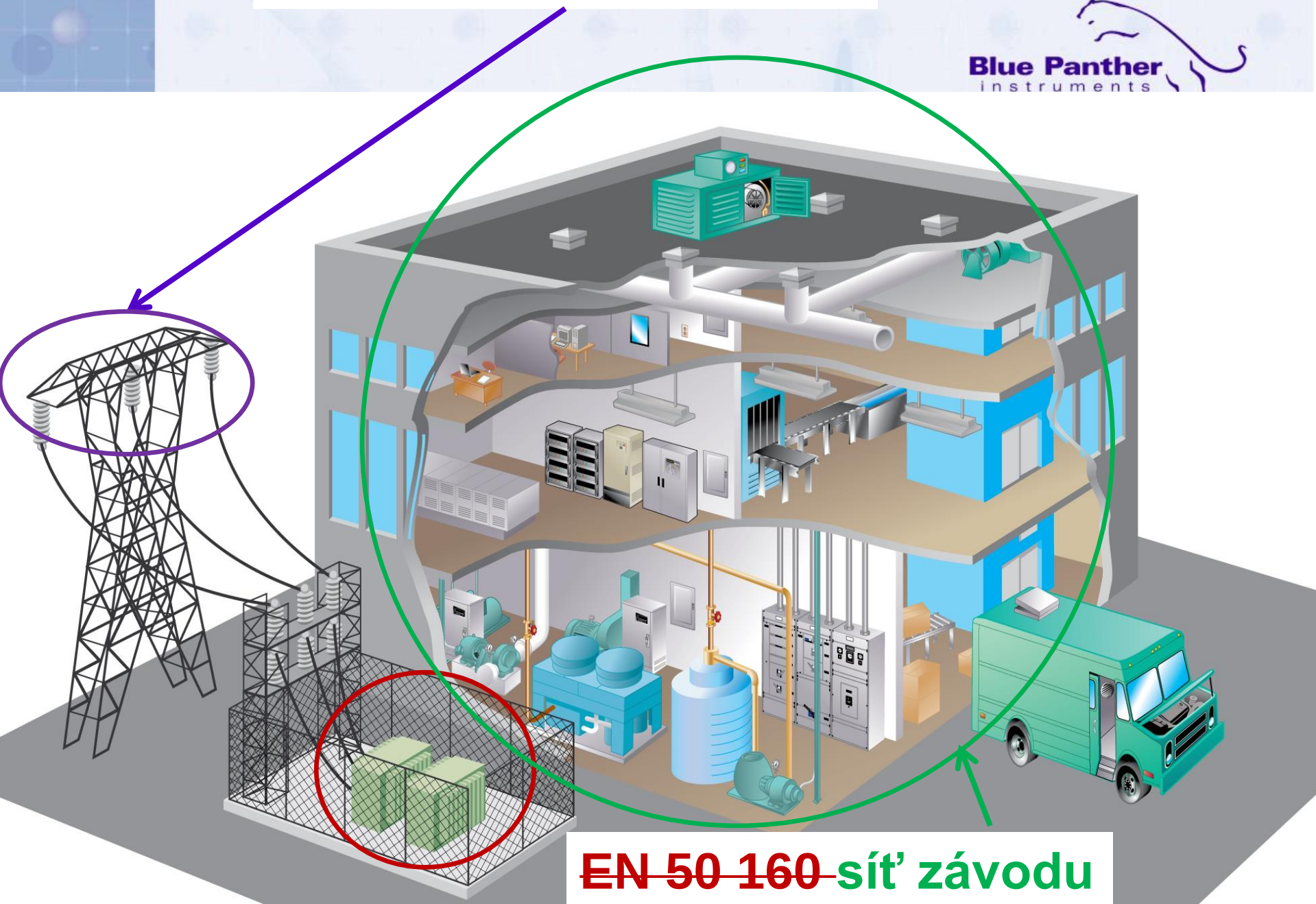
**„Vliv kvality elektřiny na náklady za energii“**

Ing. Jaroslav Smetana

# Co je kvalita elektřiny?



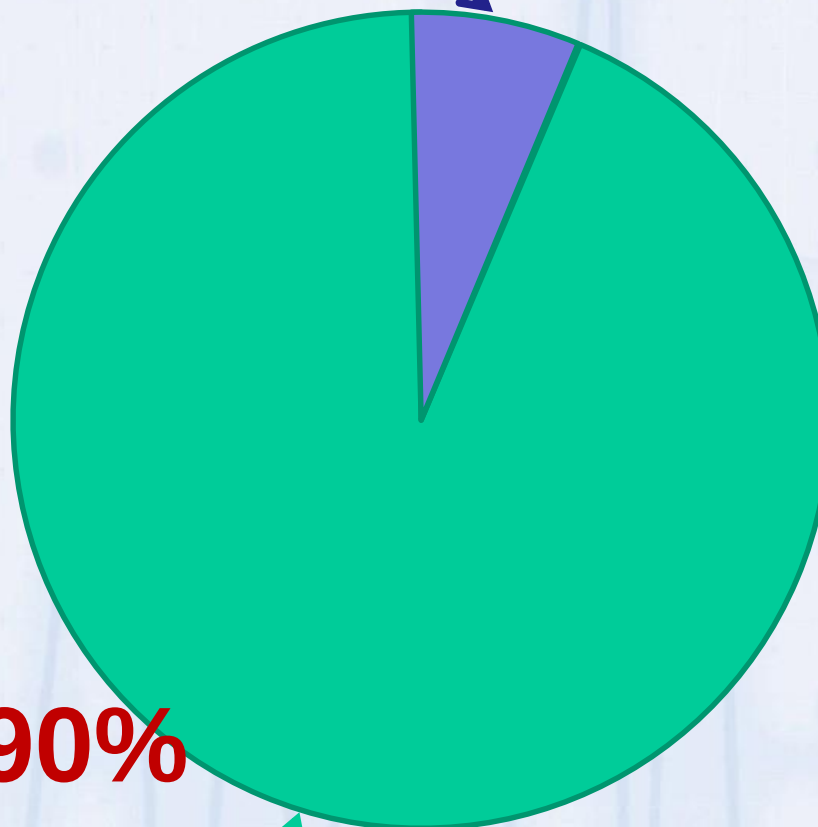
# EN 50 160 nadřazená síť



~~EN 50 160~~ síť závodu

# Nekvalita podle místa vzniku

Poruchy z nadřazené sítě



**10-15 % / 85-90 %**

Poruchy a nekvalita vzniklá  
provozem technologie



**Elektrická energie jako surovina**

**Kvalita elektřiny**

**na vstupu závodu**

**ČSN EN 50160**

**uvnitř závodu**

**???**

# Proč nestačí jen elektroměr



## Vlastnosti elektřiny - ideální stav:

Stabilní frekvence (50 Hz)  
Stabilní velikost napětí( $U_n$ )  
Harmonický průběh (sinusová vlna)  
Vyvážená 3f soustava (amplituda, fáze),

## Vlastnosti elektřiny - skutečnost

- Účinník
- Napět'ová nesymetrie
- Kolísání napětí ( poklesy - překmity - výpadky)
- Přechodná přepětí ( rychlé špičky)
- Harmonické a interharmonické složky
- Flicker

**Odchylka od optimálního stavu – minimální spotřeby**

# Elektrická energie jako surovina



## Kvalita elektřiny

na vstupu závodu

**ČSN EN 50160**

uvnitř závodu

**???**

**Pro potřeby úspor a zdravého provozu**

**dodržení parametrů ČSN EN 50160 je nedostatečné pro  
úspory a stabilitu!!!**

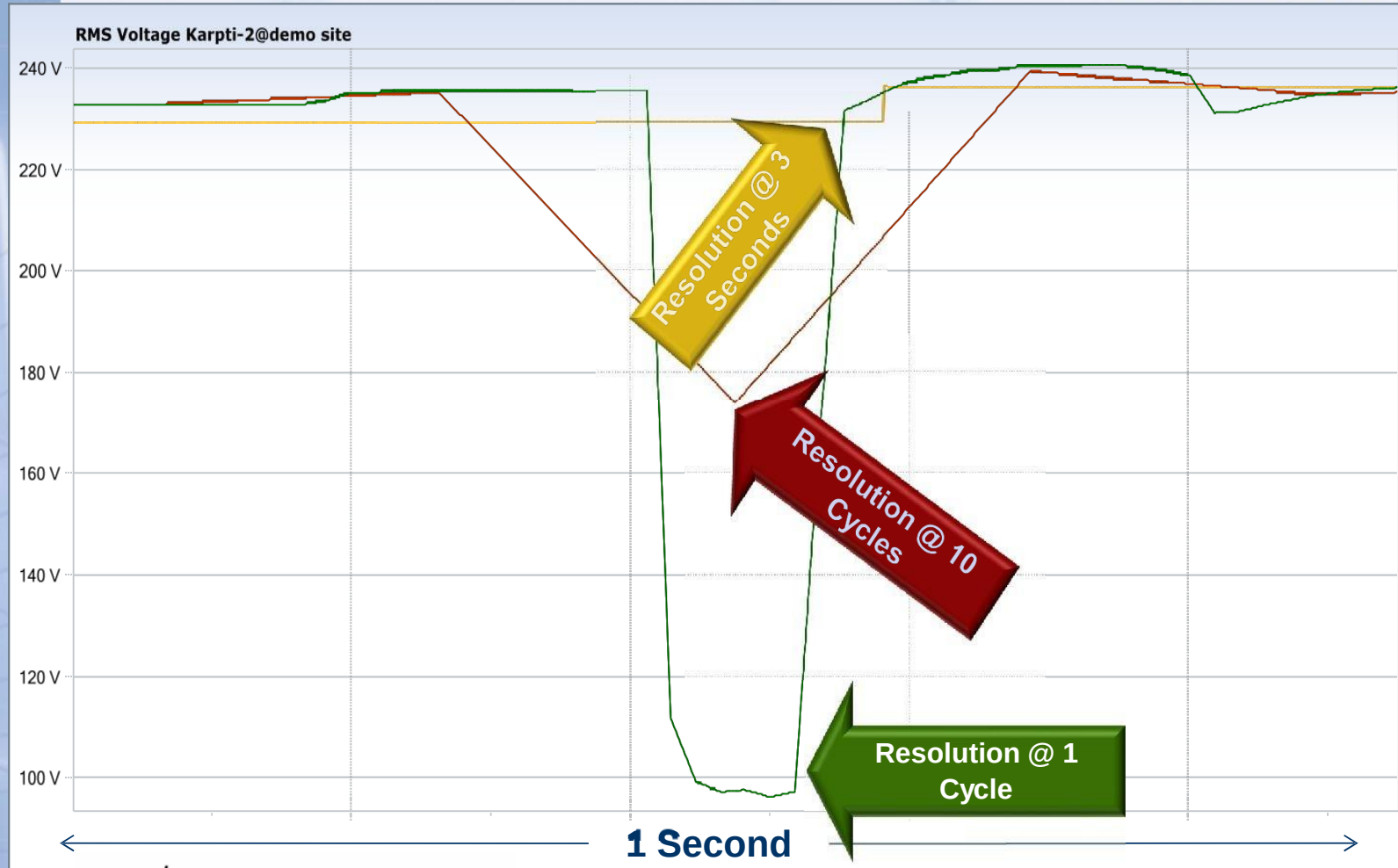
# Důsledky nízké kvality elektřiny

- Energetické ztráty
- Kvalita výrobků
- Výpadky výroby
- Náklady na údržbu
- Snížená životnost zařízení

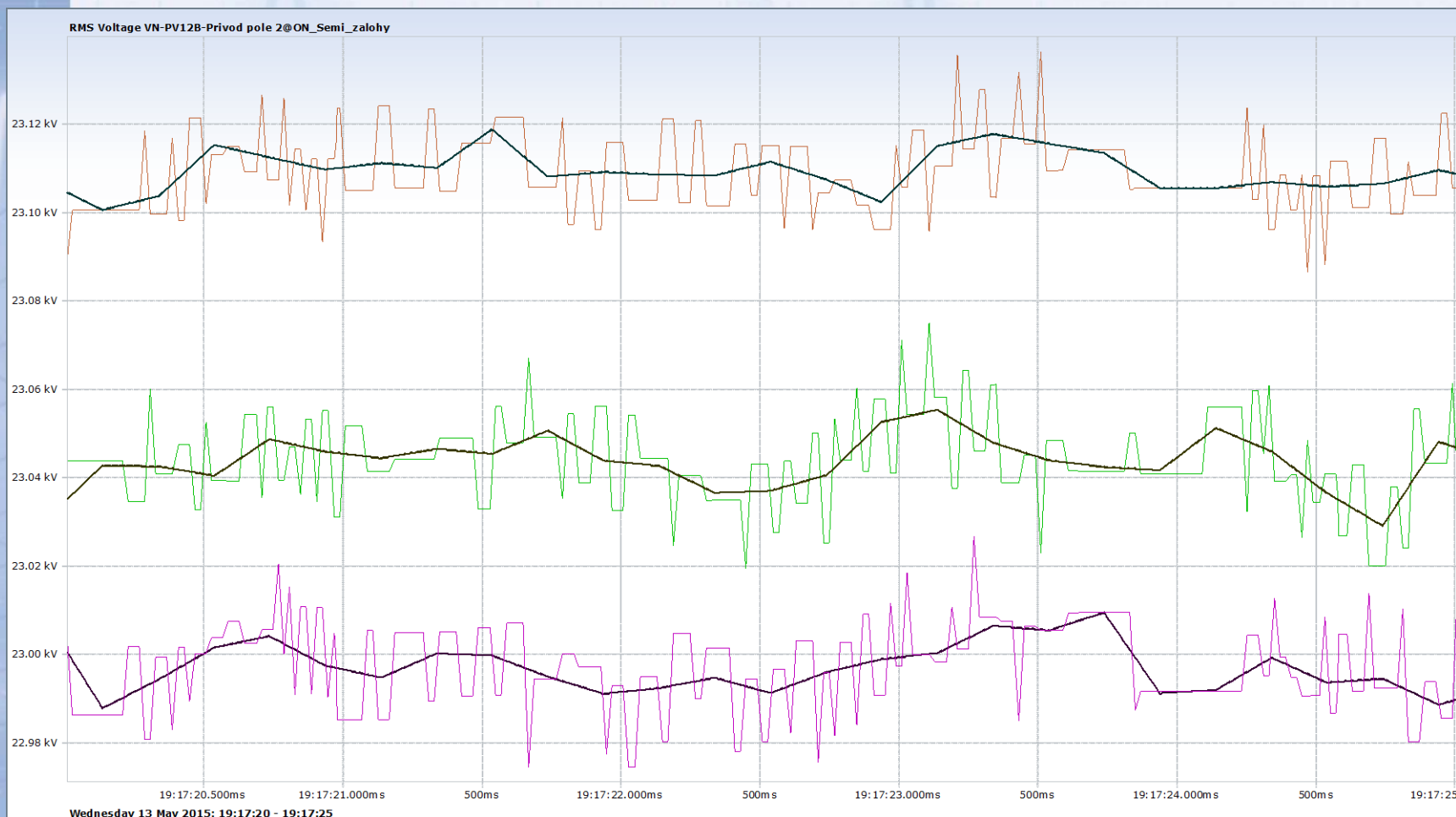




# Velikost napájecího napětí



# Velikost napájecího napětí



# Cesta k úsporám?

**Snaha o udržení optimálních pracovních podmínek  
výrobních zařízení!**

**Jak toho dosáhnout?**

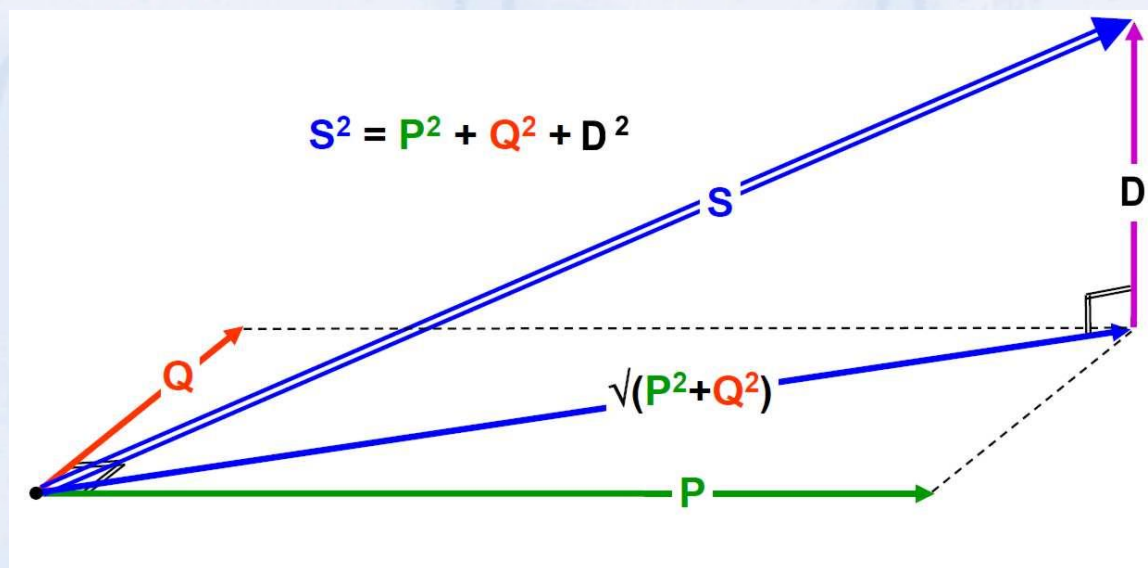
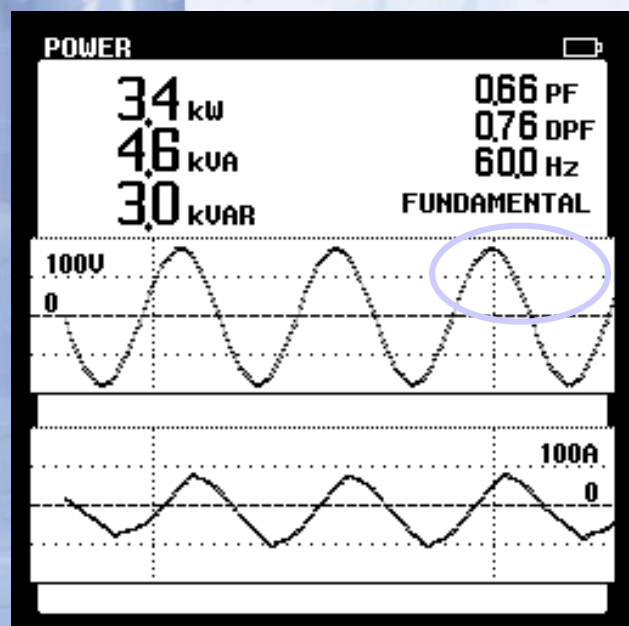
- 1. Znát stav => Měřit**
- 2. Opravit**
- 3. Kompenzovat**

# Celkový účinník - Power Factor (PF)

$$PF = P / S = W/VA$$

PF je  $\cos\phi$  včetně harmonických

**Harmonické složky zvyšují zdánlivý výkon a snižují účinník**





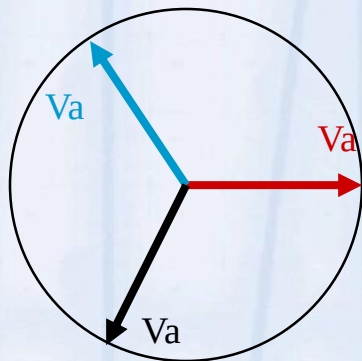
# Napět'ová nesymetrie

## Vyvážená soustava

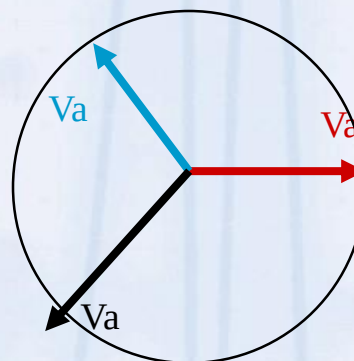
Všechny tři vektory napětí mají stejnou amplitudu a jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$

## Nevyvážená soustava

Nesplňuje podmínky vyvážené soustavy



**Vyvážená soustava**



**Nevyvážená soustava**

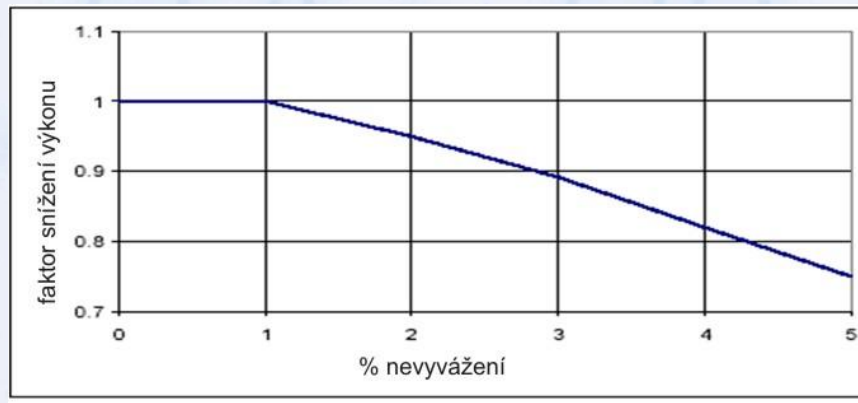
# Napět'ová nesymetrie

## Důsledky

### Třífázový indukční motor

- Malé napět'ové nesymetrie napětí – velká nesymetrie proudu  
**1% nesymetrie napětí – 6%-9% proudu**
- Důsledky:
  - Zvýšená teplota
  - Snížená životnost izolace
  - Riziko přetížení

### Vliv nesymetrie na výkon motoru



# Napěťová nesymetrie

Důsledky

## Řízený pohon – měnič

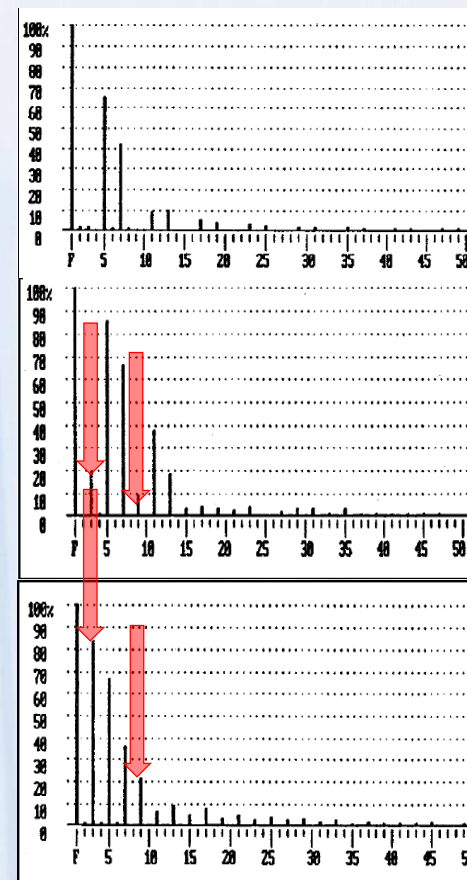
### Třífázový uzměřňovač

- Ve vyváženém systému jsou proudy fází dvojpulzy za polovinu cyklu se známými harmonickými (5, 7., ... 11, 13...)
- V nevyváženém systému dojde k odchylce od dvojitého pulzu.
- Vytvoří se necharakteristické harmonické v násobku 3.

### Důsledky:

- vypínání pohonu v důsledku zvětšení napájecího proudu
- podpětí uvnitř měniče
- Zvýšená teplota- porucha.

**1% napěťové nesymetrie - 15% a více proudového nevyvážení!**



# Kolísání napětí

## Příčina vzniku:

- Rozběh velkých pohonů
- Ztráty na vedení
- Odrazy na vedení
- Špatné uzemnění

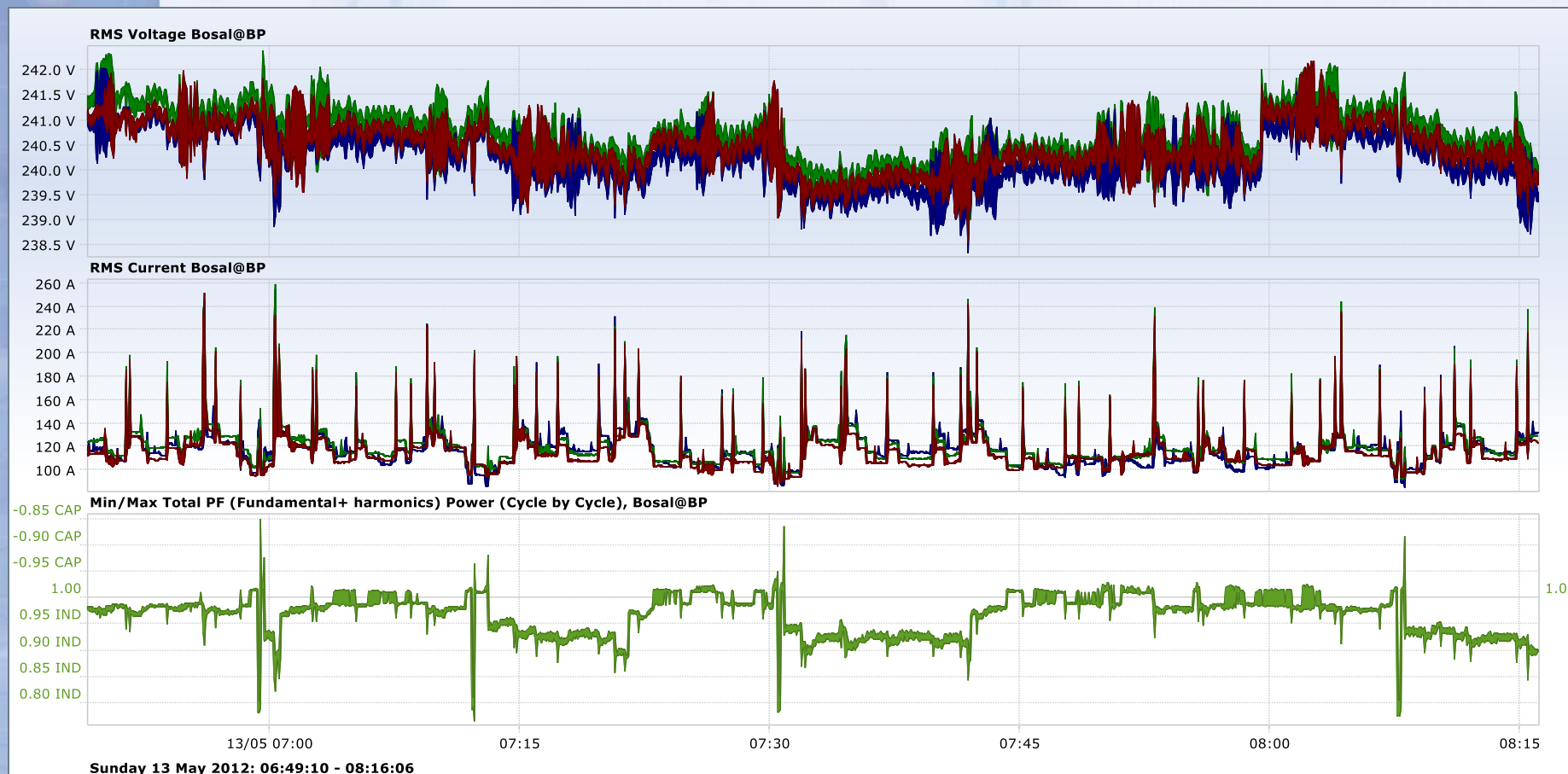
## Následky:

- Výpadky výrobních zařízení
- Přetížení
  - Nadměrný ohřev
  - Poškození izolace
  - Snížení životnosti stroje

# Změny velikosti napětí



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



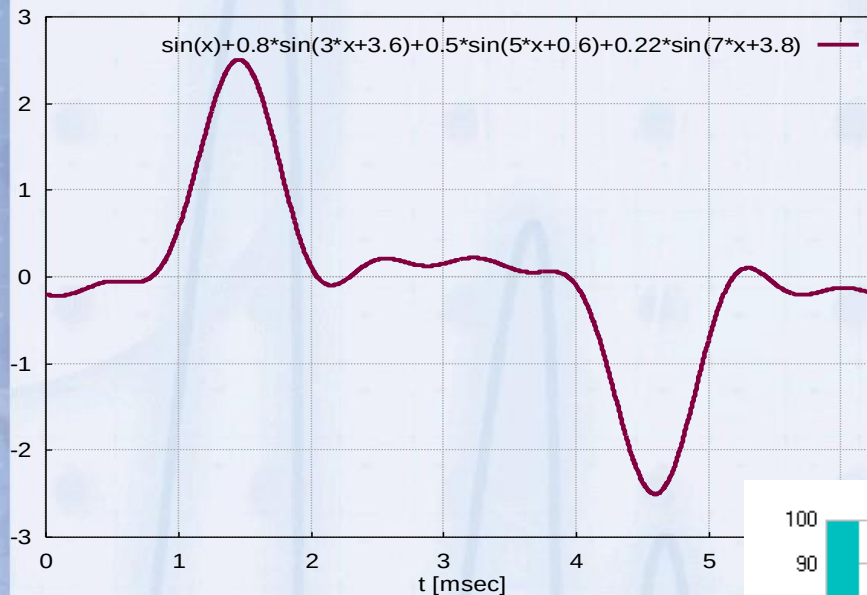


# Harmonické zkreslení

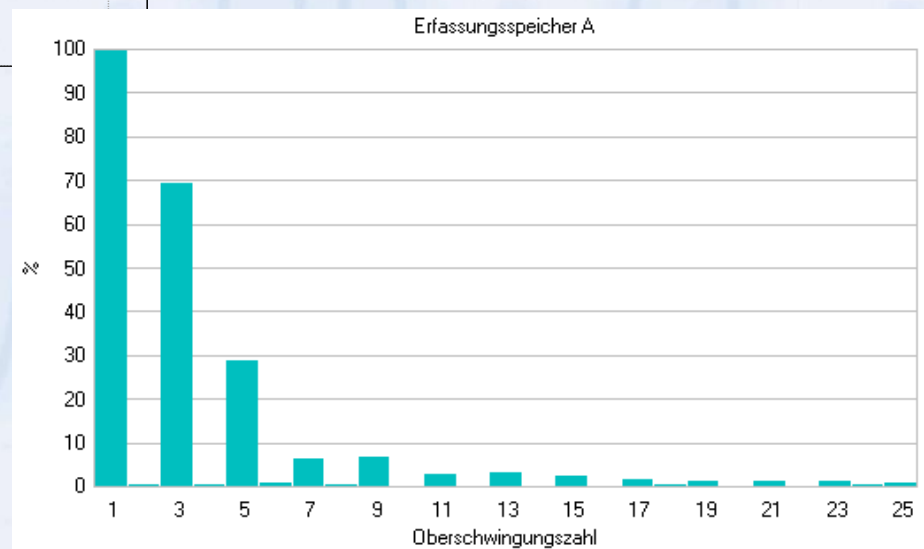


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Rozklad neharmonického proudu na dílčí harmonické složky



Spektrum signálu



# Zdroje harmonických



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

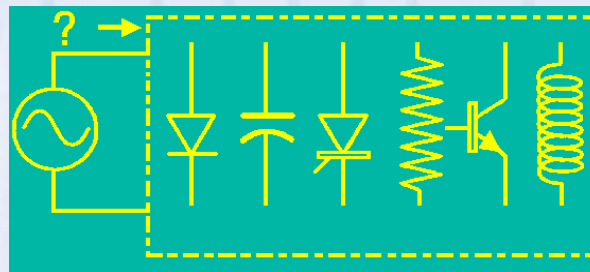
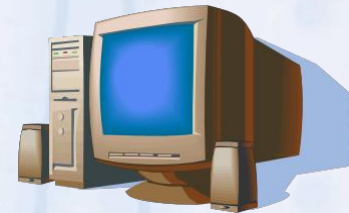
## Asynchronní motory řízené elektronickými regulátory otáček

- změna frekvence a amplitudy napájecího proudu
- pulsní regulátory - napěťové řízení
- **UPS -nepřerušitelné zdroje proudu**
  - Výstupní proud UPS je nesinusový s vysokým obsahem harmonických

## Obecně – výkonová elektronika

### Ale i :

- zářivky, výbojky i LED
- většina domácích spotřebičů, jako televizory, počítače atd.



# Vlivy harmonických

## Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

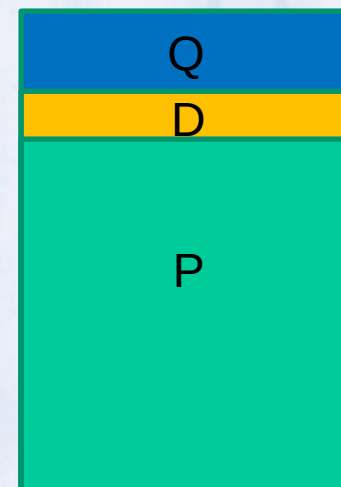
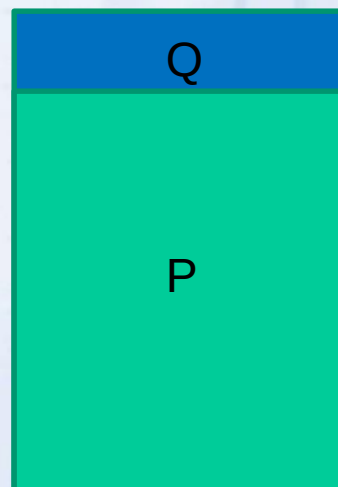
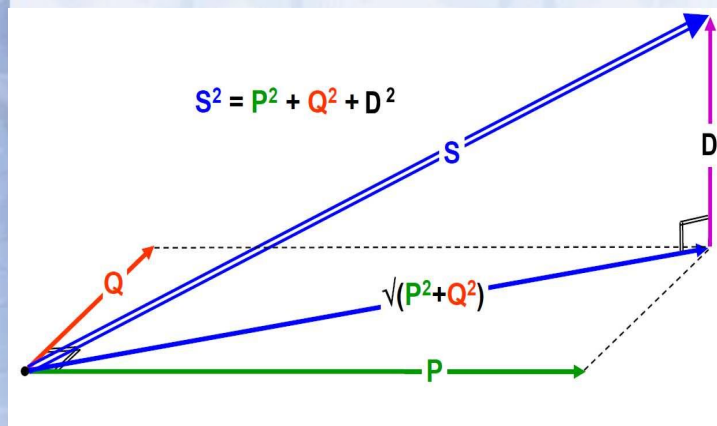
- **Točivé stroje**
  - 3-fázové motory a generátory
- **Transformátory**
- **Kabely**
- **Přídavné oteplení statorového vinutí, oscilace rotoru vedoucí ke ztrátě mechanické stability a zvýšení hluku motoru**
- **Přídavné zvýšení ztrát v železe - Foucaultovými proudy a ve vinutí. Riziko přesycení.**
- **Zvýšení ohmických ztrát zvláště pak v neutrálním vodiči, kterým tečou proudy třetí harmonické. Koroze hliníkových kabelů vlivem ss proud.**

**Redukce harmonickými – významný zdroj úspor**

# Vliv harmonických na transformátor

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} + D^2$$



**Tepelné ztráty**

# Vlivy harmonických

## Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

- **Výkonová elektronika**
  - Problémy funkce vlivem rušení. Přídavné dielektrické ztráty vedoucí k poškození výkonových kondenzátorů
  - Funkční problémy spojené s rušením.
- **Počítače**
- **Ochranné prvky**
  - pojistky, chrániče, ...
  - Náhodné nebo předčasné vybavení..



# Důsledky nízké kvality energie

- **Energetické ztráty**
- **Nízký účinník ztráty  $\Rightarrow I^2$** 
  - rozvody
  - Transformátory
- **Harmonické  $\Rightarrow I^2$** 
  - Rozvody, transformátory, motory
- **Kolísání napětí**
- **Proud středním vodičem**

$$W = I^2 R t$$



# Důsledky nízké kvality energie

- **Výroba a výrobní zařízení**
- Kvalita výrobků
- Výpadky výroby
- Zvýšené náklady na údržbu
- Snížená životnost zařízení



# Odstraněním vlivu:



nízkého účinníku

napěťového a proudového nevyvážení

vlivu harmonických složek

kolísání napětí

**Lze získat úsporu 5-15%**

# **Trvalý monitoring kvality elektrické energie**

Ing. Jaroslav Smetana



# ELSPEC G4000 BLACKBOX



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

## Trvalý monitoring je způsob jak:

1. Snížit provozní náklady
2. Optimalizovat využití sítě
3. Zvýšit spolehlivost a redukovat výpadky



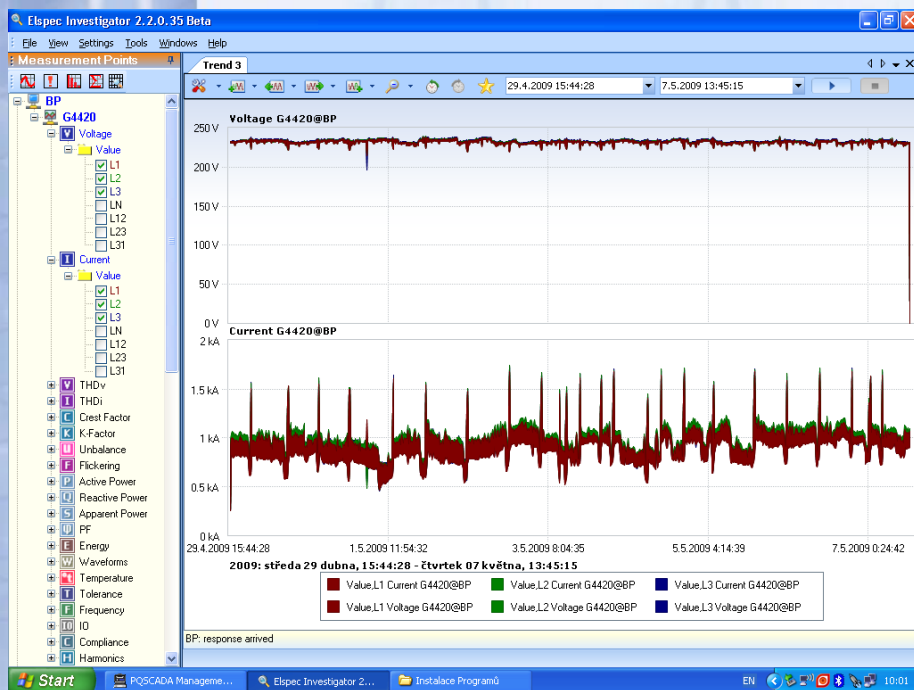


# Trvalý monitoring a jeho přínosy

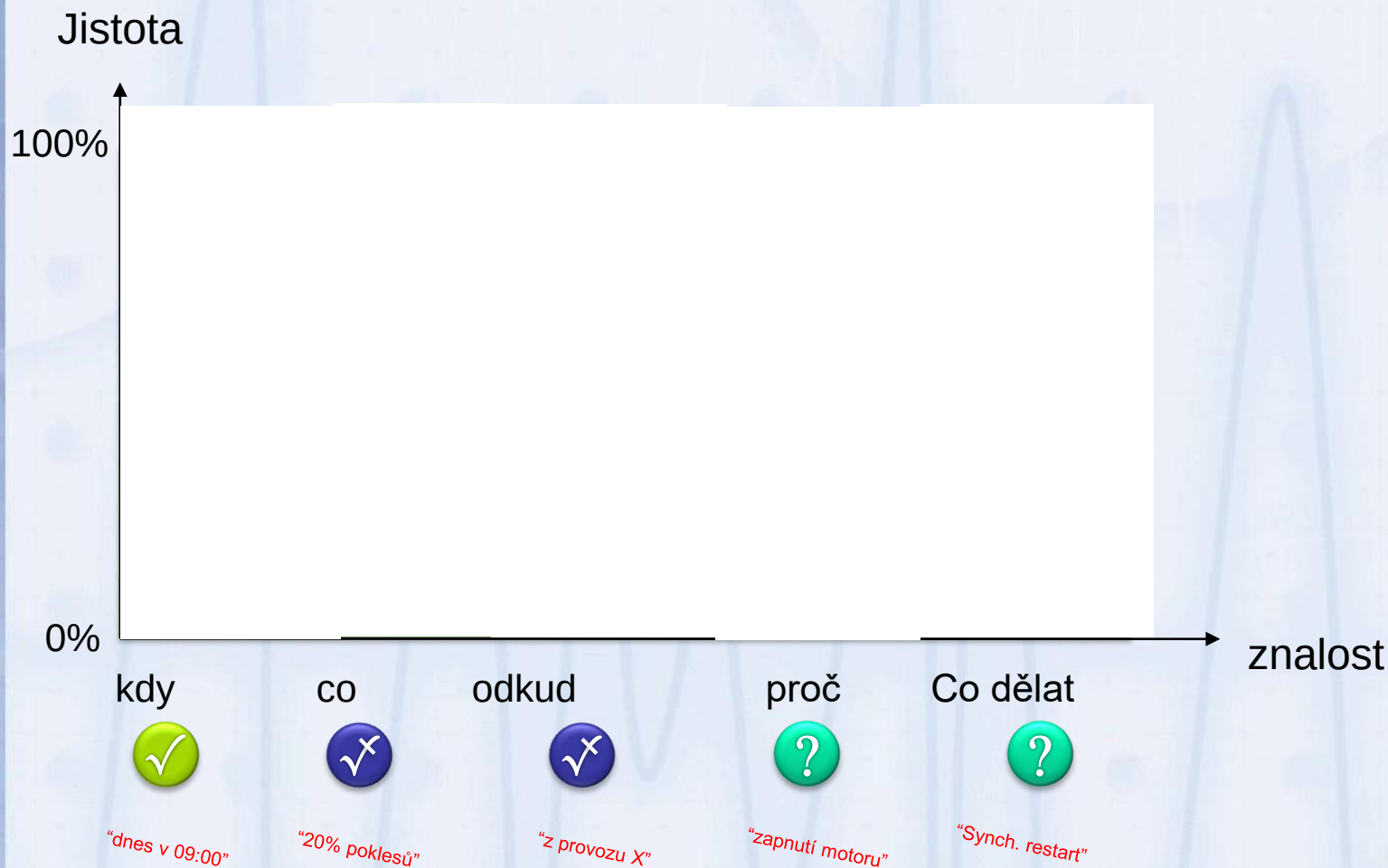


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

- Zařízení, které provádí kontinuální záznam klíčových parametrů kvality el. Energie
- Rychlý záznam U, I, S, P, Q, Cosf, ....
- **Představa o dlouhodobém vývoji a charakteru elektrické energie**
- V případě poruchy máme možnost zpětně dohledat tyto parametry a určit z nich příčinu poruchy



# Dostupnost znalostí při zjišťování anomálií v energii



# Dostupnost znalostí při zjišťování anomálií v energii



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



# ELSPEC G4000 BLACKBOX

- Digitální záznamník poruch
- Analyzátor kvality
- Měřič výkonu třídy-A
- Měřič energie na úrovni plateb



**...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ**

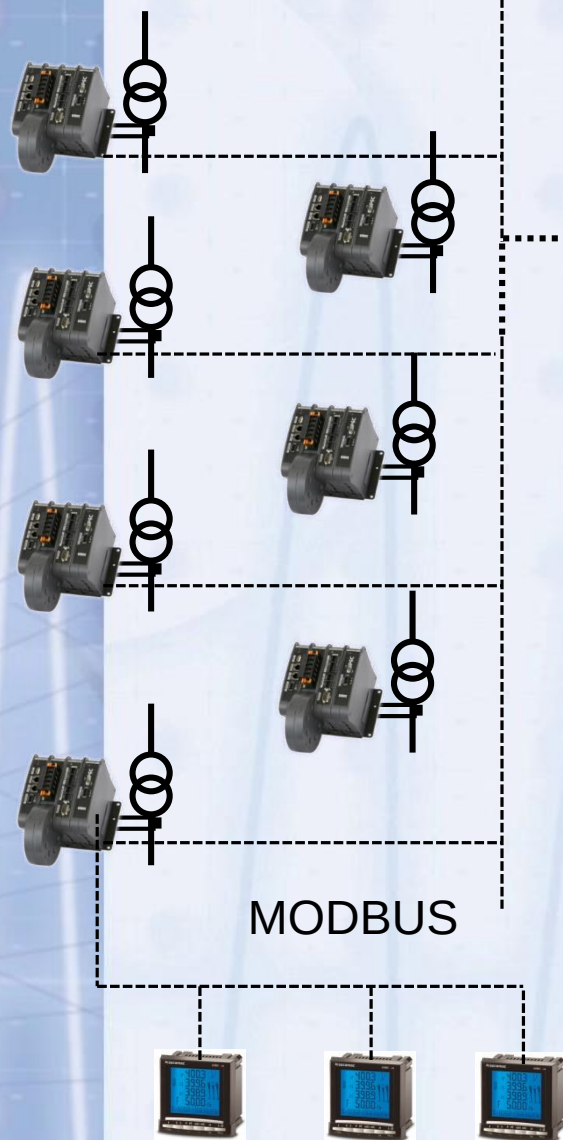
## Měření:

- ❖ 2 paralelně počítající stroje:  
IEC 61000-4-30 Class-A a perioda-perioda,
- ❖ Až od 511 harmonické
- ❖ Plné rozlišení 8000V / 75A při vysoké přesnosti
- ❖ Real time flickering – 2, 10 a 60 sekundové periody
- ❖ Periodické ukládání 4 kvadrantové energie  
(aktivní a reaktivní) pro celkem 16 parametrů
- ❖ Detailní Inter- a Sub-harmonické





# Řešení monitoringu



MODBUS

Přenosný přístr.  
G4500 údržba



**Blue Panther**  
instruments

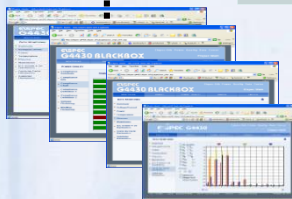


**...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ**

LAN síť závodu



Místní PC



**PQScada**  
Společná databáze



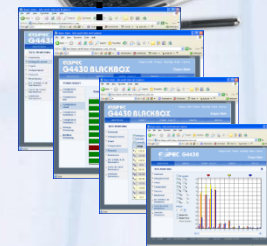
Server

Internet



Auditor

Vzdálený přístup



**Řídicí systém závodu**



**Blue Panther**  
instruments



## Analyzátor Fluke 435II

Lze použít pro měření a výpočet jak spotřeby tak i k výpočtu plýtvání.

Lze vyčíslit jak mnoho se plýtvá a kolik ztrát přichází z kterého faktoru využitím patentované metody

### Unified Power.

#### Rozdělené celkového výkonu na složky

Napětí:  $u(t) = u_+(t) + u_U(t) + u_H(t)$

Proud:  $i(t) = i_+(t) + i_R(t) + i_U(t) + i_H(t)$

Výkon:  $p(t) = u(t) \cdot i(t) = p_E(t) + p_R(t) + p_U(t) + p_H(t)$



Kde;

index U = Nevyvážení

index H = Harmonické

index R = Reaktivní

index E = Efektivní

Efektivní  
(Aktivní)

Reaktivní

nevyvážení

harmonické

# Kalkulátor ztrát Fluke



Identifikuje, vyčísluje a oceňuje úplné ztráty energie, včetně harmonických, nevyvážení, účinníku a kabeláže

Činný výkon v kilowatech

Reaktivní (jalový) výkon kVAR

Výkon spojený s nevyvážením

Výkon spojený s harmonickými

Proud nulovým vodičem

Celková cena ztrát v kilowatthodinách za rok

## ENERGY LOSS CALCULATOR

| DEMO              |                    | 0:02:13          |         |              |          |
|-------------------|--------------------|------------------|---------|--------------|----------|
|                   |                    | Total            | Loss    | Cost         |          |
| Effective         | kW                 | 187              | kW 15.6 | Eur          | 2.33 /hr |
| Reactive          | kvar               | 25               | kW 0.3  | Eur          | 0.04 /hr |
| Unbalance         | kVA                | 22               | kW 0.4  | Eur          | 0.07 /hr |
| Distortion        | kVA                | 35               | kW 1.6  | Eur          | 0.24 /hr |
| Neutral           | A                  | 38.0             | kW 0.1  | Eur          | 0.01 /hr |
| Total             |                    |                  |         | kEur 23.64/y |          |
| 10/28/12 13:41:08 |                    | 230V 50Hz 3Ø WYE |         | EN50160      |          |
| LENGTH            | DIAMETER           | METER            |         | RATE         | HOLD     |
| 200 m             | 50 mm <sup>2</sup> |                  |         | 0.15 /kWh    | RUN      |

Délka a průřez kabelu je zabudována do výpočtu ztrát



# Elektrický systém a mapa spotřeby a ztrát



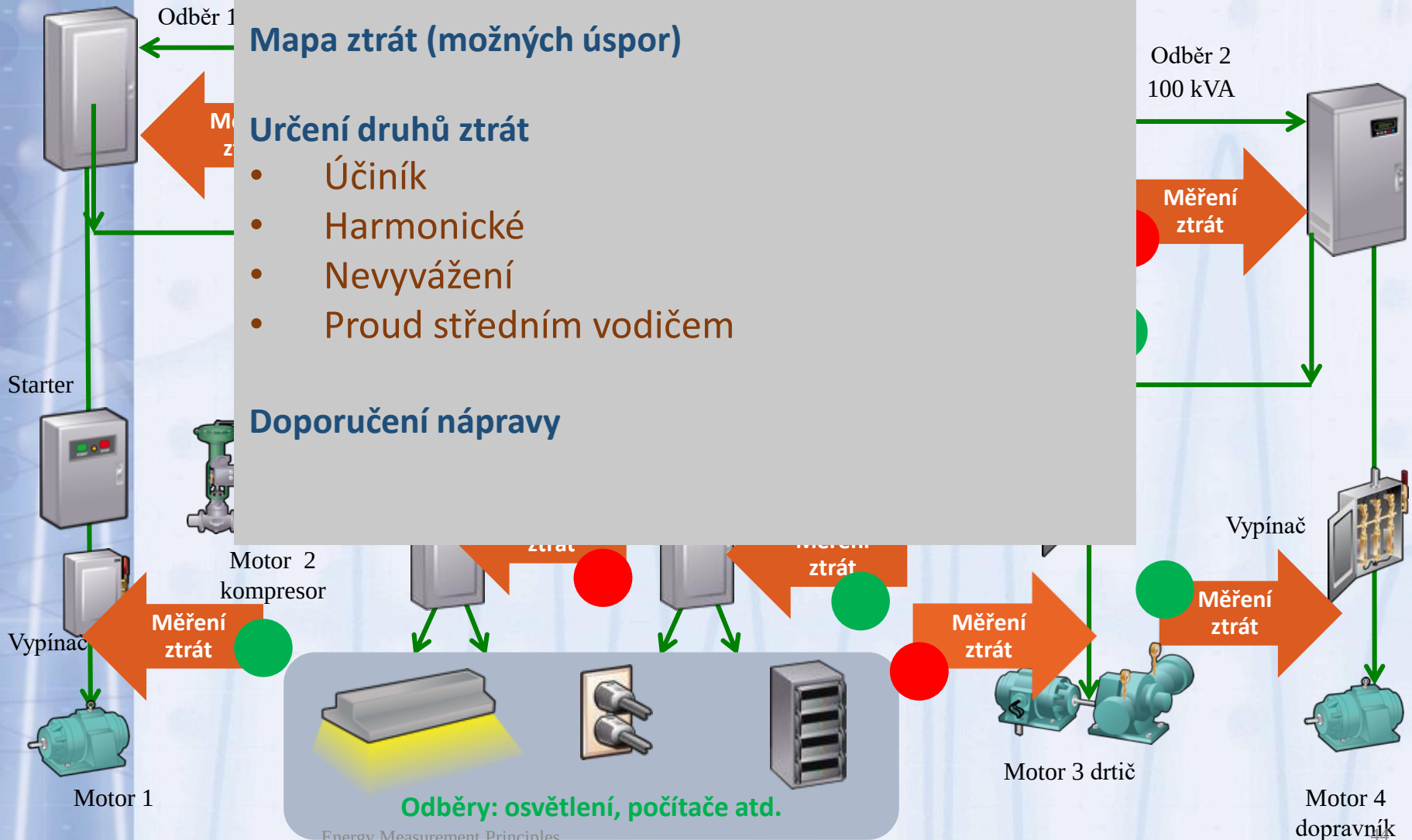
## Mapa spotřeby – skutečná spotřeba

## Mapa ztrát (možných úspor)

### Určení druhů ztrát

- Účinník
- Harmonické
- Nevvyvážení
- Proud středním vodičem

### Doporučení nápravy



# Náprava stavu

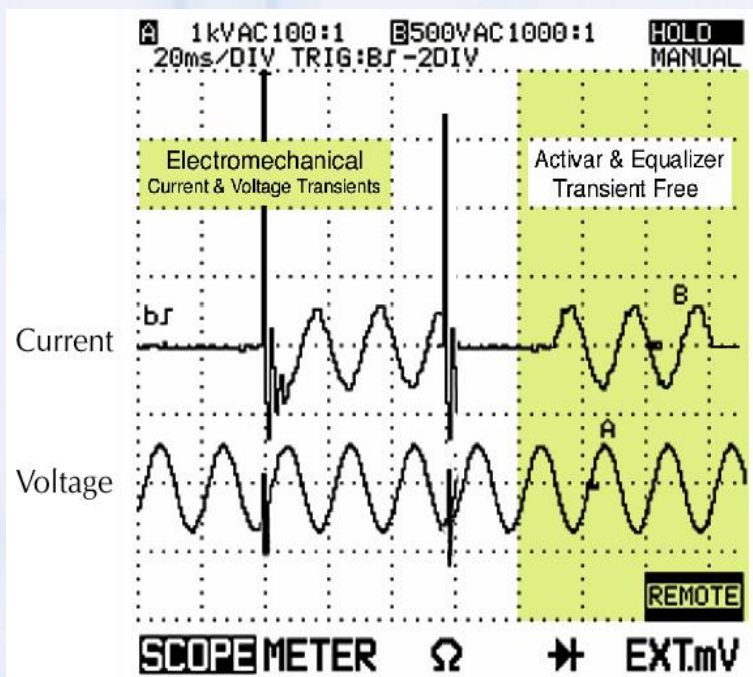
Stabilizace napětí – Účíník - Harmonické složky



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

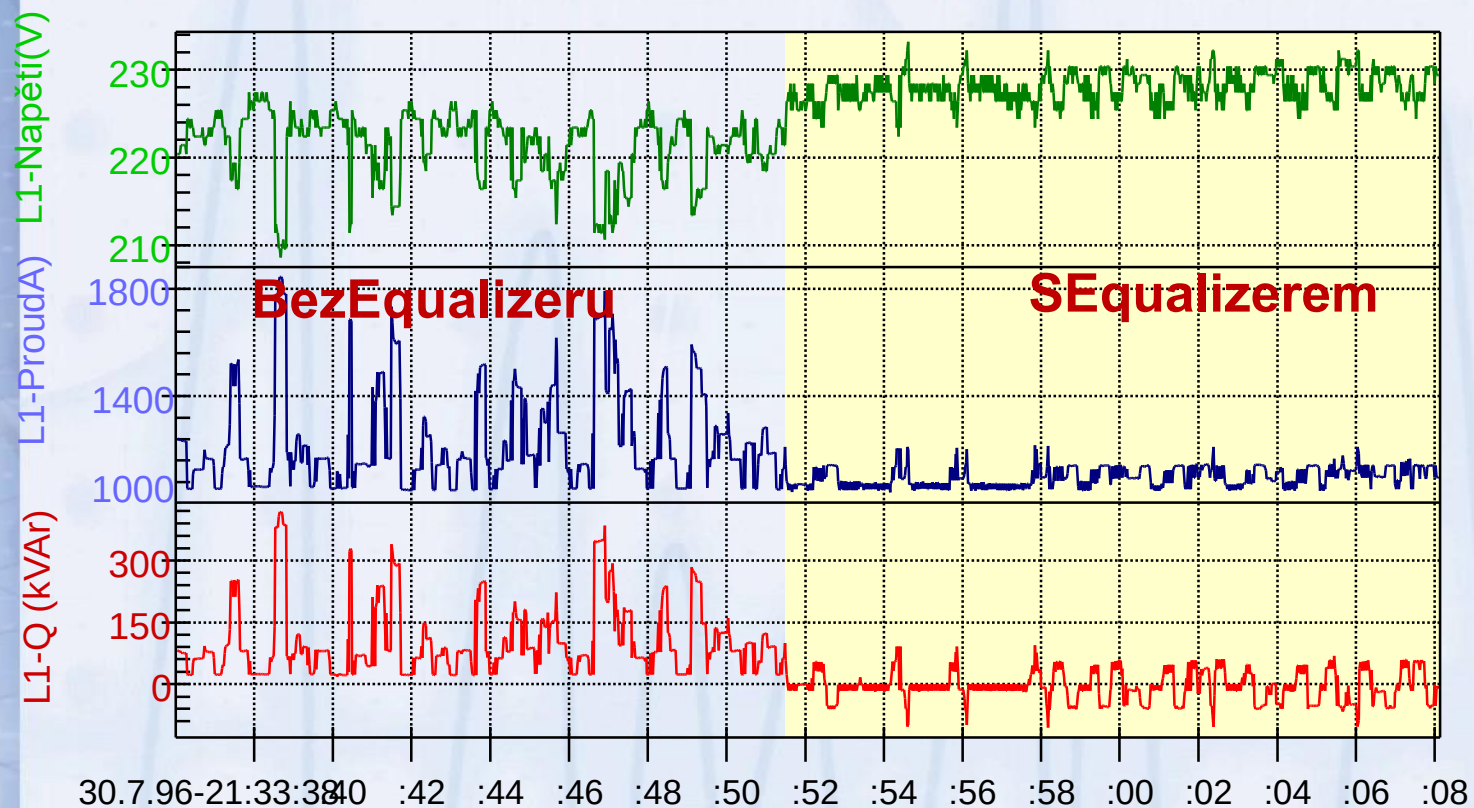
## Redukce nadproudů, účíníku a harmonických

### Dynamické kompenzace Elspec Equalizer



Ing. Jaroslav Smetana

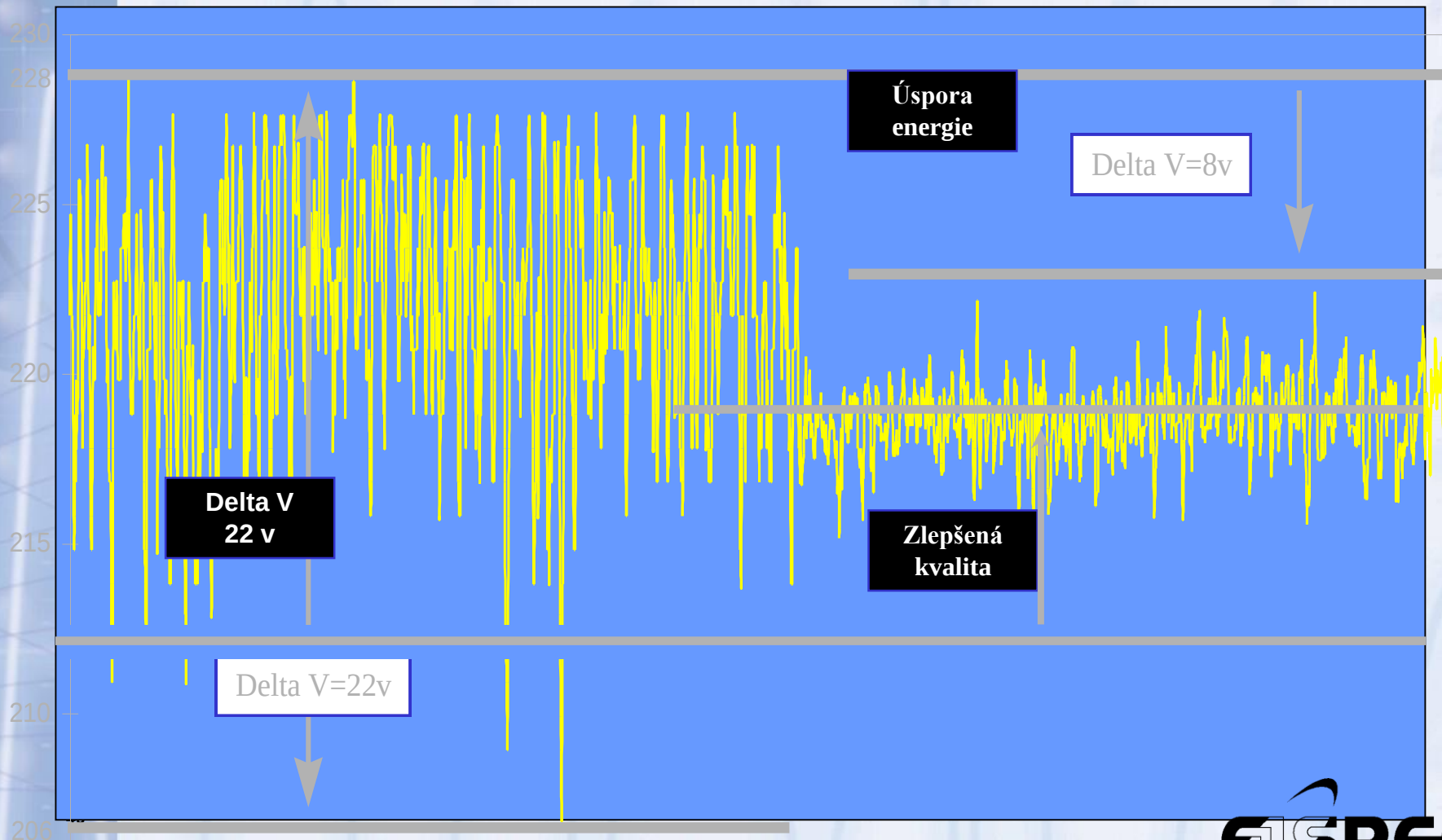
# Příklad z automobilového průmyslu



# Úspory energie a zlepšení kvality



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ





# Řešení s centrální kompenzací

Trafo 22kV/400V-1MVA

Hlavní rozvaděč 400/230V

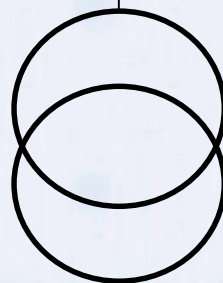
Podružné rozvaděče dílen 400/230V

Kompenzátor Equalizer

Vývody k odběrům 400/230V



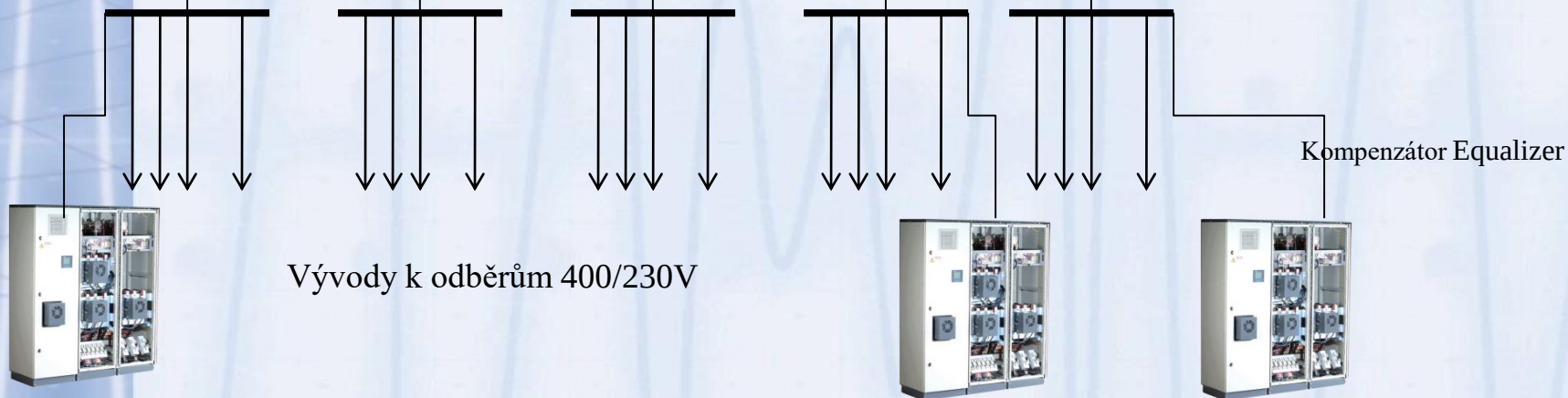
# Řešení s decentralizovanou kompenzací



Trafo 22kV/400V-1MVA

Hlavní rozvaděč 400/230V

Podružné rozvaděče dílen 400/230V



Kompenzátor Equalizer

Vývody k odběrům 400/230V

# Výsledky auditu – Návrh řešení



## Návrh řešení T2 (1MVA):

Vzhledem k zjištěné vysoké úrovni kolísání napětí – velké poklesy napětí, které narušují spolehlivý provoz výrobních zařízení, zkracují jejich životnot a způsobují ztráty ve výrobě a vzhleden k vysoké úrovni 5. harmonické bylo navrženo řešení v podobě **Elspec Equalizer system EQ300kVAr**

Toto zařízení bude:

- Stabilizovat napětí – potlačit poklesy
- Filtrovat 3./5. harmonickou
- Eliminovat jalový výkon – redukovat  $\cos\phi$  na 0,95.
- **Spořit Energy**

# Simulace úspor energie na T1

## Simulace

Použita data z T1 ze záznamu 4 dní (od 15/01/2015).

## Úspory redukcí proudu

V tomto kroku jsou simulovány úspory redukcí proudu jako výsledek redukce reaktivního výkonu.

## Úspory ze ztrát v harmonický

Zde jsou kalkulovány ztráty vlivem harmonických včetně skin efektu, hystereze a negativní sekvence

## Úspory z řízení napětí

Tje určena minimální úroveň napětí založená na měření v dlouhém čase. Při simulaci je vypočtena spotřeba před a po změně úrovně napětí rozdíl je pak úspora.

**Celková úspora** je součtem redukce ztrát z redukce proudu a harmonických a úspor z úpravy napětí.



# Simulace úspor energie na T1

Černá – měření / fialová simulace



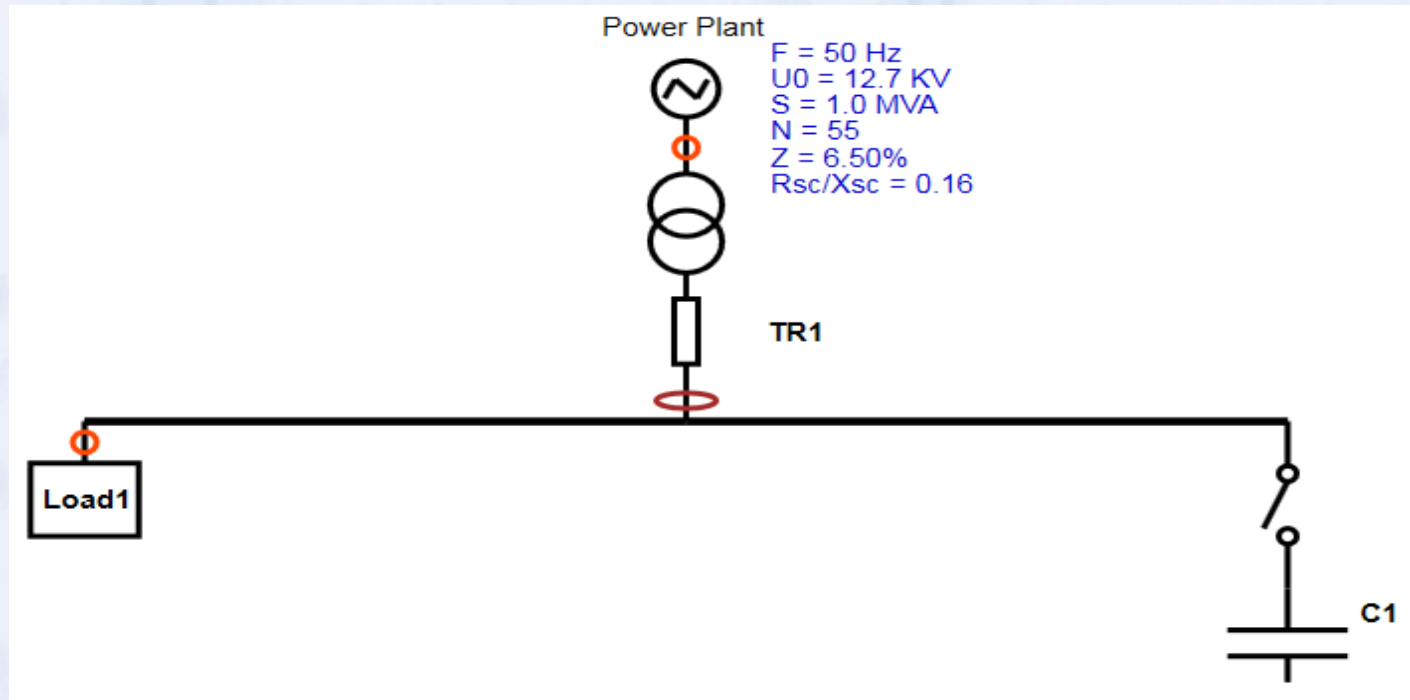
...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



# Řešení úspory energie pro výsledky T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



# Řešení úspory energie pro výsledky T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

| Složka                           | Ztráty ve vinutí<br>[KW] | ZTRÁTY VZTAŽENÉ KE<br>ZPOTŘEBĚ | ZTRÁTY<br>VZTAŽENÉ K<br>TRANSFORMÁTO<br>RU |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| T1 Transformátor                 | 1.532                    | 0.44%                          | 0.15%                                      |
| Vedení                           | N.A.                     |                                |                                            |
| Celkem bez EQ300KVA <sub>r</sub> | 1.532                    | 0.44%                          | 0.15%                                      |
| Transformátor                    | 1.462                    | 0.41%                          | 0.14%                                      |
| Vedení                           | N.A.                     |                                |                                            |
| Celkem s EQ300KVA <sub>r</sub>   | 1.462                    | 0.41%                          | 0.14%                                      |
| Zlepšení (rozdíl mezi s a bez)   | 0.070                    | <b>0.03%</b>                   | 0.01%                                      |

Table 3.1: Snížení ztrát na transformátoru a vedení jako výsledek snížení proudu.

# Řešení úspory energie pro výsledky T1



VAŠE MĚŘENÍ



EQ naladěný na 5. harmonickou je schopen absorbovat 70-80% 5. harmonické na napětí a proudu a také zlepšit úroveň 7.H.

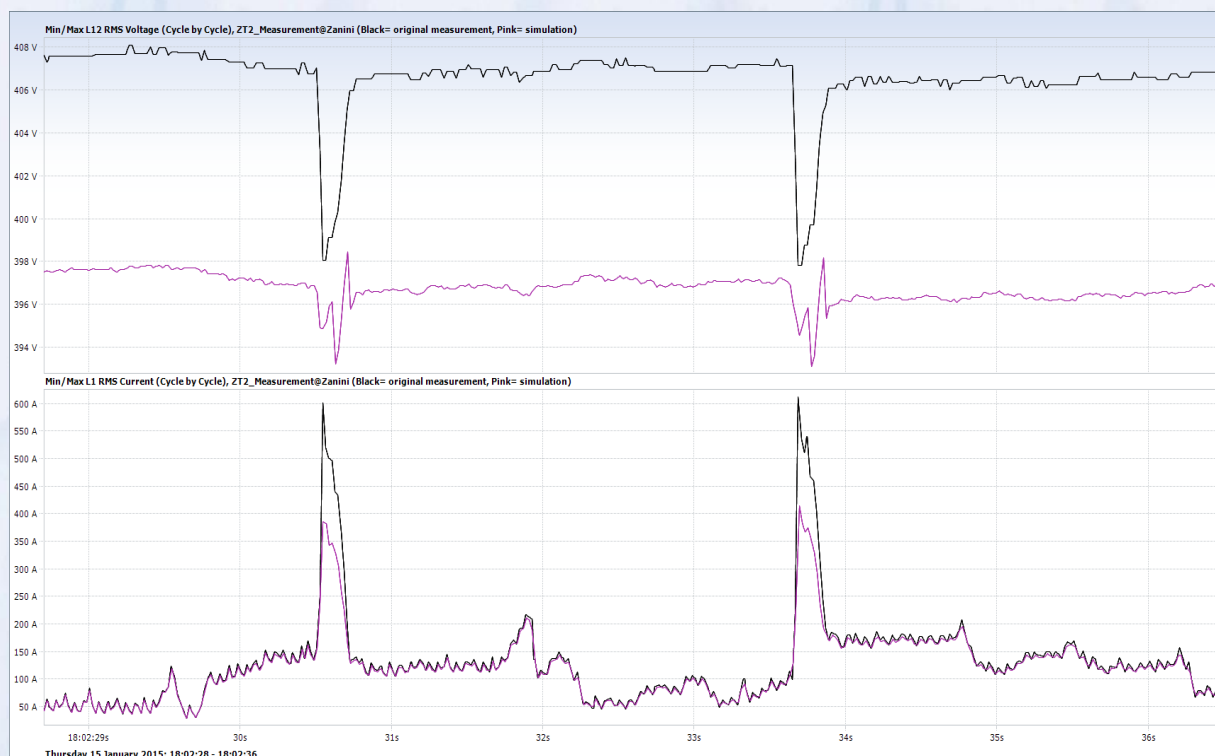
Úspora redukcí harmonických bude cca **1%**.



# Řešení úspory energie pro výsledky T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



**Napřené hodnoty a hodnoty simulace se snížením napětí o 2.5% s EQ300KVar – zoom**

# Přibližná úspora energie na T1

Úspora redukcí proudu a harmonických a snížením příkonu snížením napětí o 2.5% je v T1.1, o 5% pak v T T1.2.

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| Úspora redukcí proudu       | -0.03%        |
| Úspora redukcí Harmonických | -1.00%        |
| Úspora stabilizací napětí   | -3.39%        |
| <b>CELKOVÁ ÚSPORA</b>       | <b>-4.42%</b> |

Table T1.1

**Celková úspora přepnutím traťa o 2.5%**

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| Úspora redukcí proudu       | -0.03%        |
| Úspora redukcí Harmonických | -1.00%        |
| Úspora stabilizací napětí   | -7.96%        |
| <b>TOTAL SAVINGS</b>        | <b>-8.99%</b> |

Table T1.2.

**Celková úspora přepnutím traťa o 5%**

# Finanční úspora a návratnost investice



Cena dodávky EQ300kVAr - 658 000Kč

## Úspora 4,42% (2,5%)

Denní úspora  $620\text{kW} \times 0,0442 \times 24\text{h} = 658\text{kWh} \Rightarrow 658 \times 2\text{Kč} = 1\,316\text{Kč}$

Měsíční úspora (20 dnů)  $1\,316 \times 20 = 26\,320,-\text{Kč}$

Návratnost pouze z úspory energie  $658\,000 / 26\,320 = 25$  měsíců

## Úspora 8,99% (5%)

Denní úspora  $620\text{kW} \times 0,0899 \times 24\text{h} = 1\,338,-\text{kWh} \Rightarrow 1\,338 \times 2\text{Kč} = 2\,676\text{Kč}$

Měsíční úspora (20 dnů)  $2\,676\text{Kč} \times 20 = 53\,520,-\text{Kč}$

Návratnost pouze z úspory energie  $658\,000 / 53\,520,-\text{Kč} \Rightarrow 12,3$  měsíce

# Elspec Equalizer





# Dotazy ?

**Děkuji za pozornost  
Ing. Jaroslav Smetana**