

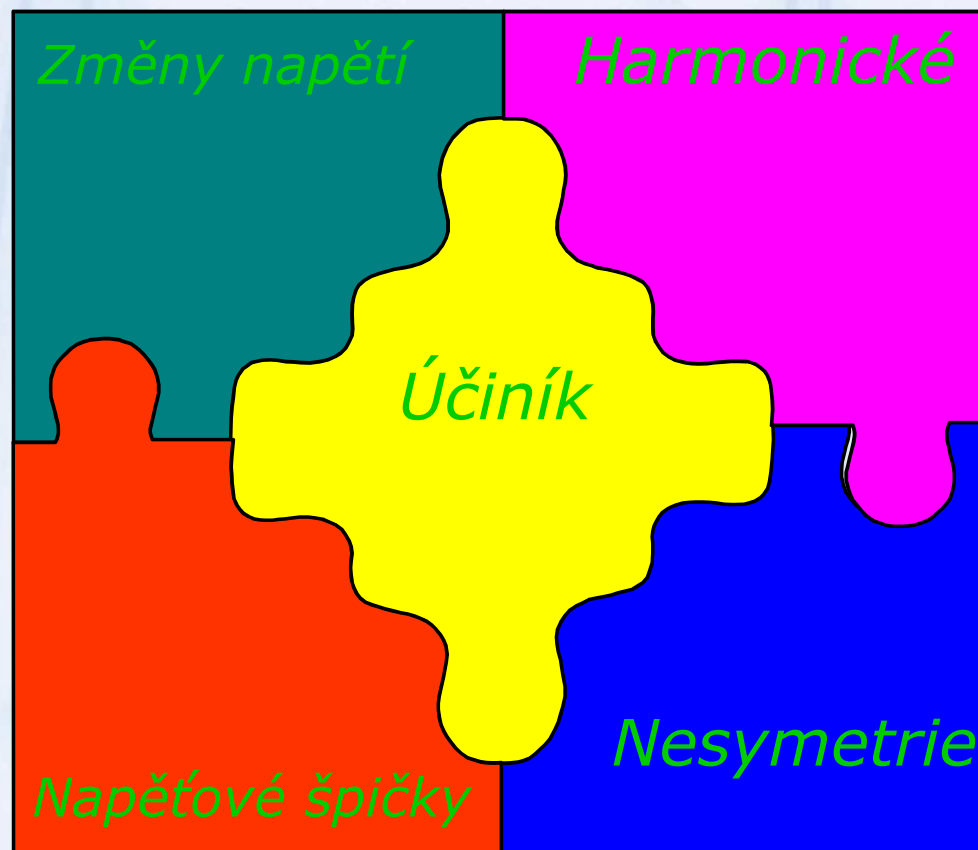
Kvalita elektřiny

„Jak kvalita elektřiny ovlivňuje kvalitu a cenu výroby“

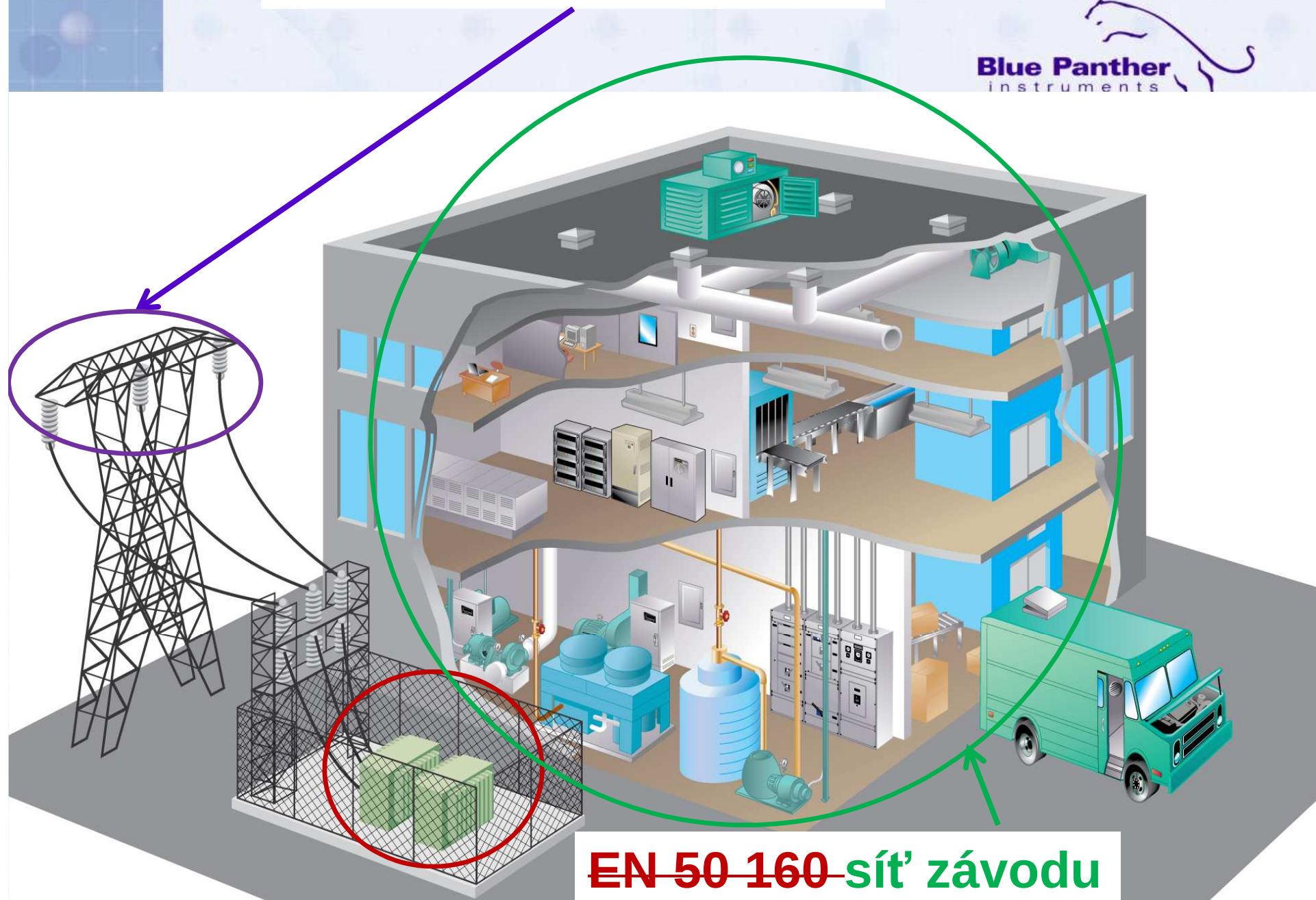
Ing. Jaroslav Smetana

- **Co je kvalita energie**
 - Důsledky nízké kvality energie
 - Parametry kvality
 - Analýzy kvality a řešení
- **Řešení pro korekci kvality**

Co je kvalita elektřiny?



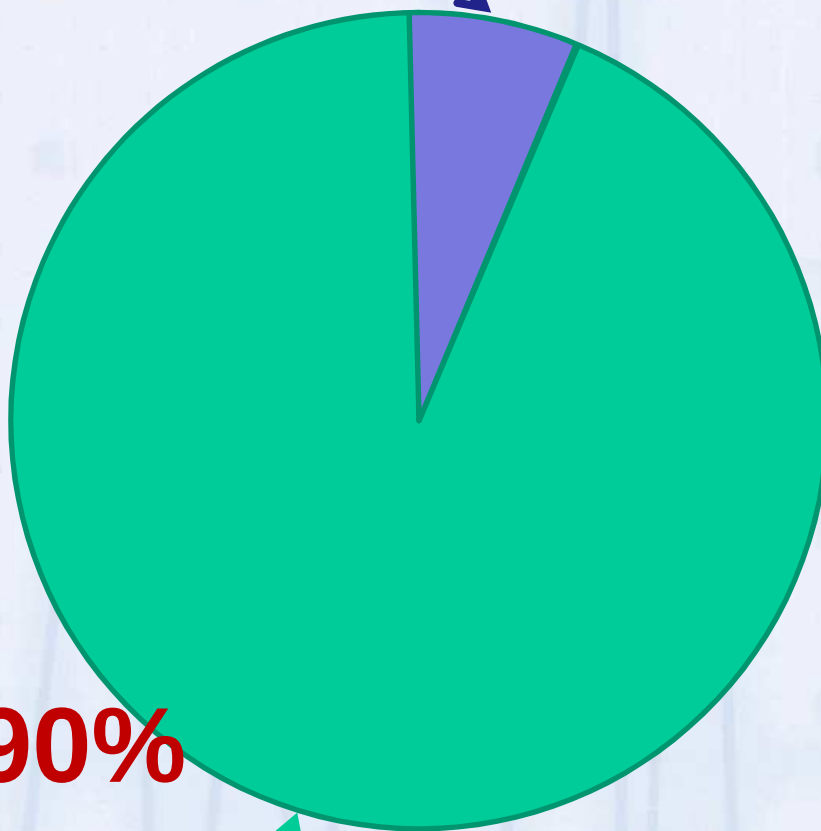
EN 50 160 nadřazená síť



~~EN 50 160~~ síť závodu

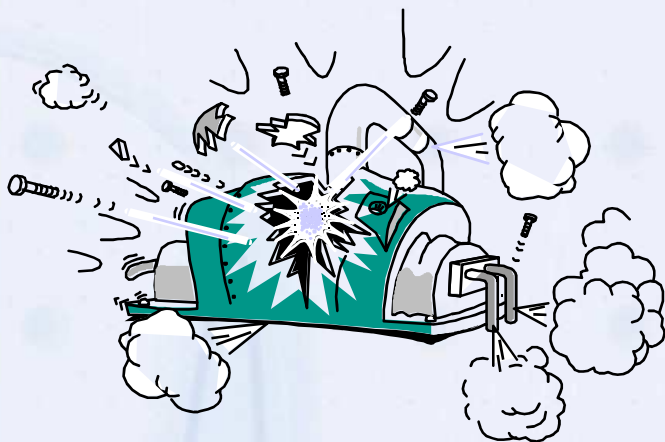
Nekvalita podle místa vzniku

Poruchy z nadřazené sítě



10-15 %/85-90%

Poruchy a nekvalita vzniklá
provozem technologie



Projevy nízké kvality energie

- Oteplování motorů, transformátorů a vedení vedoucích ke zkrácení životnosti nebo okamžité poruše
- Náhodné výpadky nastavení automatů
- Výpadky činnosti automatů, PLC apod.
- Nestabilita provozu pohonů, náhodné poruchy pohonů
- Blikání osvětlení
- Poškozování elektroniky
- Náhodné výpadky počítačových systémů řízení výroby

CENA POKLESU NAPĚTÍ



Source: EPRI "The Economics of Custom Power", IEEE T&D Show 2003

Ztráty na jednu událost poklesu napětí

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

- Účíník
- 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 energie

- Výpadky výroby
- Snižování životnosti zařízení
- Náklady na údržbu
- Kvalita výrobků
- Energetické ztráty



Elektrická energie jako surovina



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

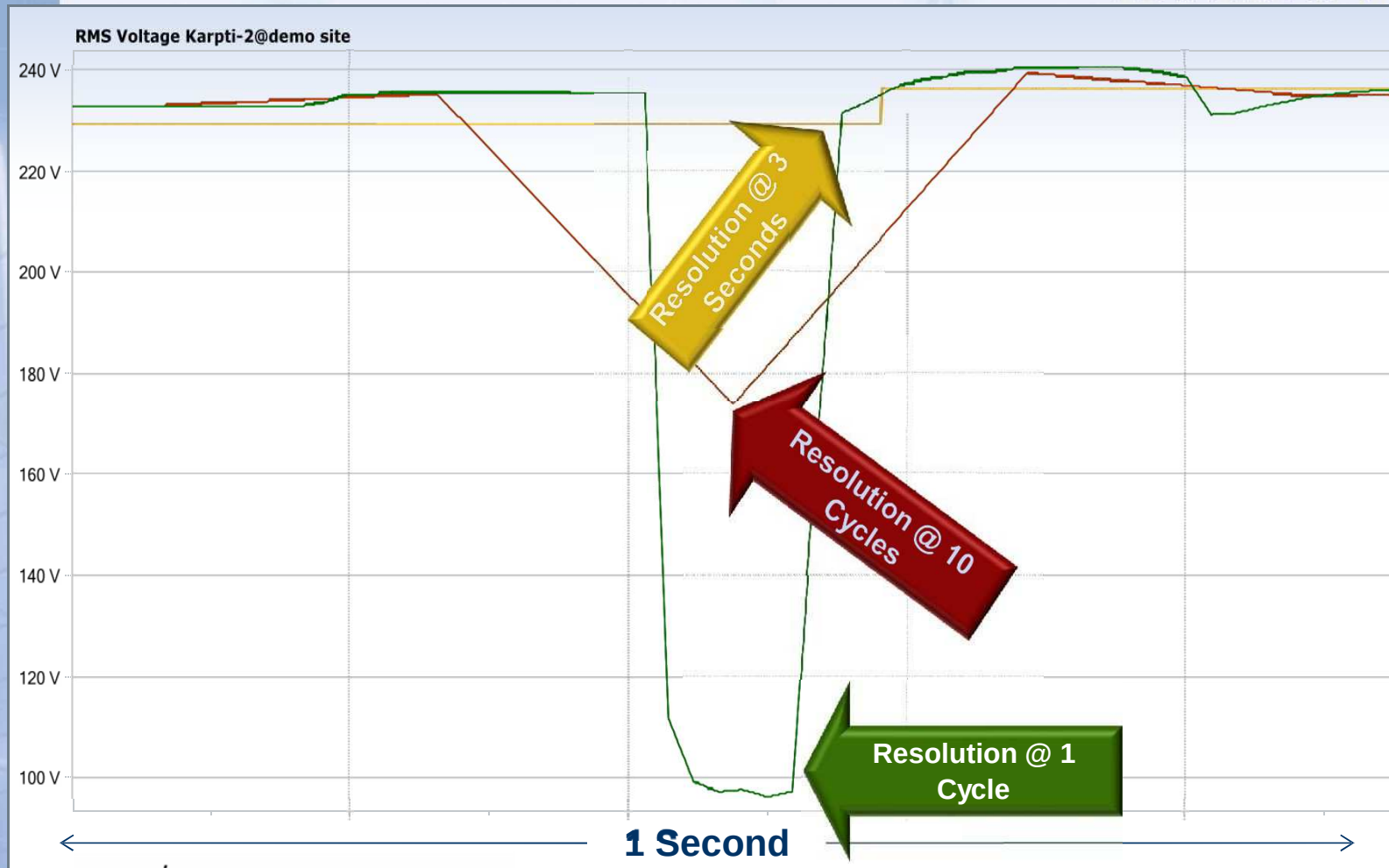
Kvalita elektrické energie

Pro potřeby vztahu dodavatel/odběratel - energetický zákon

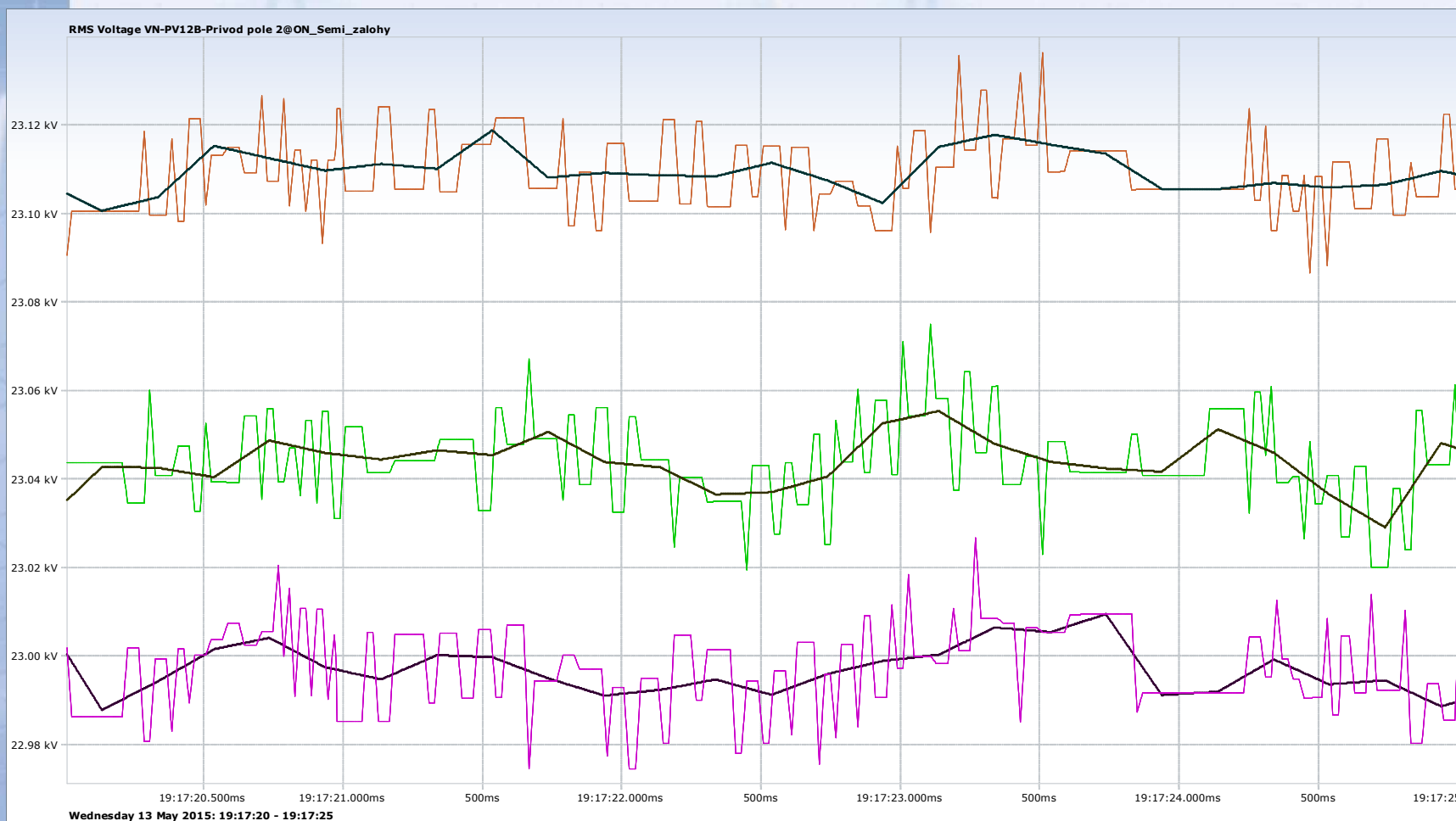
Parametry popisuje norma ČSN EN 50160

Parametry	Akceptovatelné limity	Měřicí interval	Perioda monitorování	Akceptovatelný výskyt
Frekvence sítě	49.5Hz - 50.5Hz 47Hz - 52Hz	10 s	1 týden	95% 100%
Pomalé změny napětí	230V $\pm$ 10%	10 min	1 týden	95%
Překmitý a poklesy napětí (≤ 1 min)	10 až 1000 krát za rok (pod 85% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Krátká přerušení (≤ 3 min)	10 až 100 krát za rok (pod 1% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Poruchová dlouhá přerušení (> 3 min)	10 až 50 krát za rok (pod 1% jmenovité)	10 ms	1 rok	100%
Přechodná přepětí (L-N)	Většinou < 1.5 kV	10 ms	Neurčen	100%
Transienty (L-N)	Většinou < 6 kV	Neurčen	Neurčen	100%
Napětíové nevyvážení	Většinou 2% ale nejvíce 3%	10 min	1 týden	95%
Harmonické složky napětí	8% celkového harmonického rušení (THD)	10 min	1 týden	95%

Velikost napájecího napětí



Velikost napájecího napětí



Cesta k úsporám?

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

Jak toho dosáhnout?

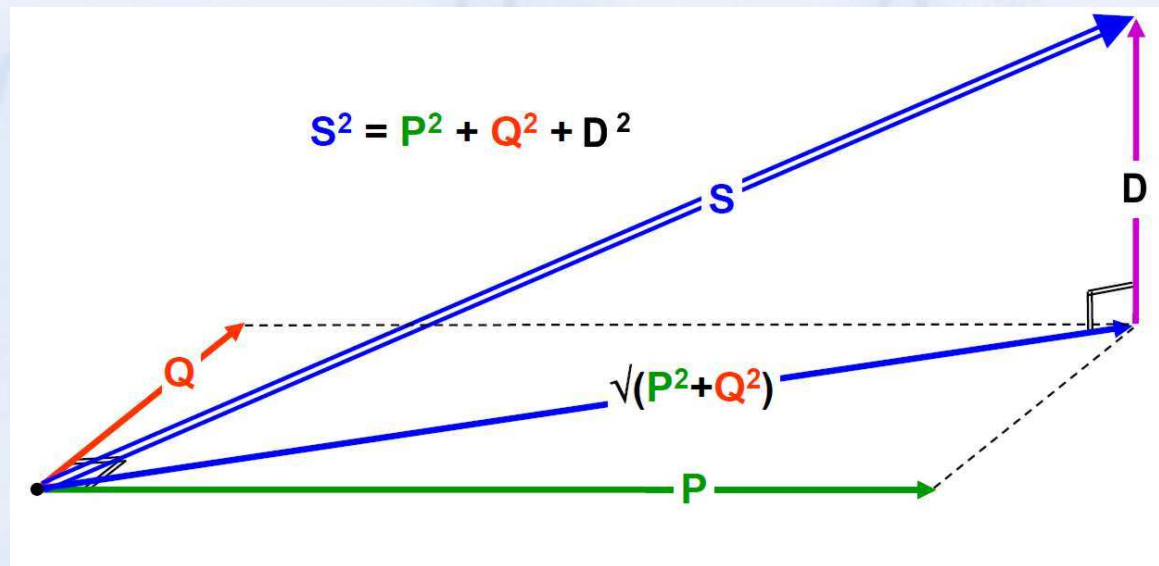
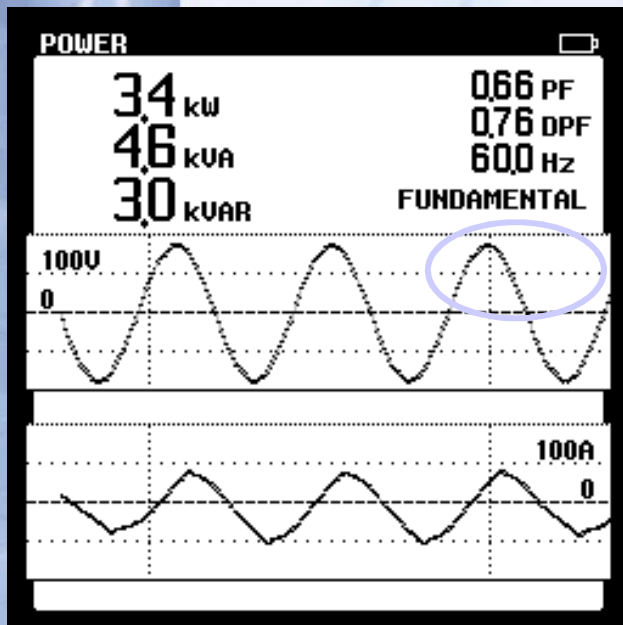
- 1. Znát stav => Měřit**
- 2. Opravit**
- 3. Kompenzovat**

Celkový účinník - Power Factor (PF)

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

PF je $\cos\phi$ včetně harmonických

Harmonické složky zvyšují zdánlivý výkon a snižují účinník



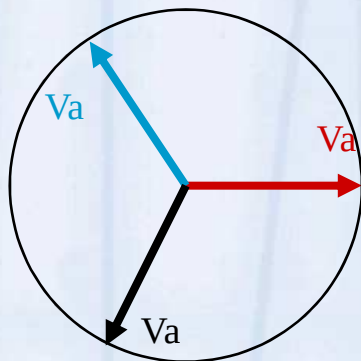
Napět'ová nesymetrie

Vyvážená soustava

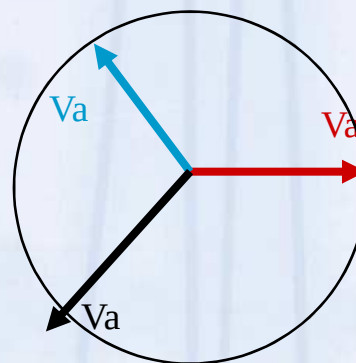
Všechny tři vektory napětí mají stejnou amplitudu a jsou vzájemně posunuty o 120°

Nevyvážená soustava

Nesplňuje podmínky vyvážené soustavy



Vyvážená soustava



Nevyvážená soustava

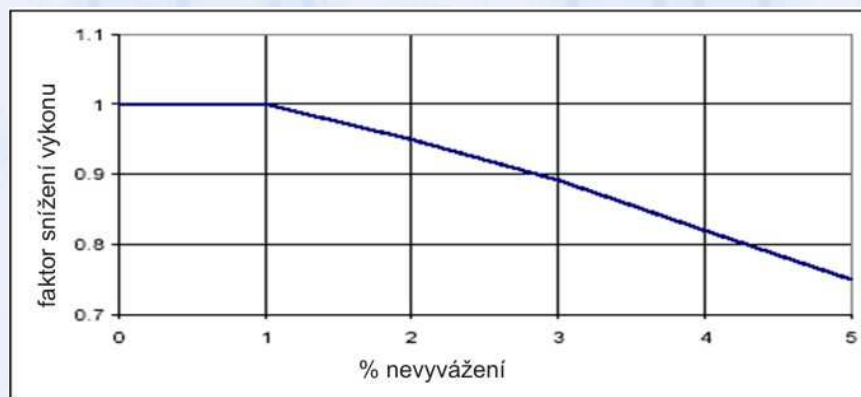
Napět'ová nesymetrie

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

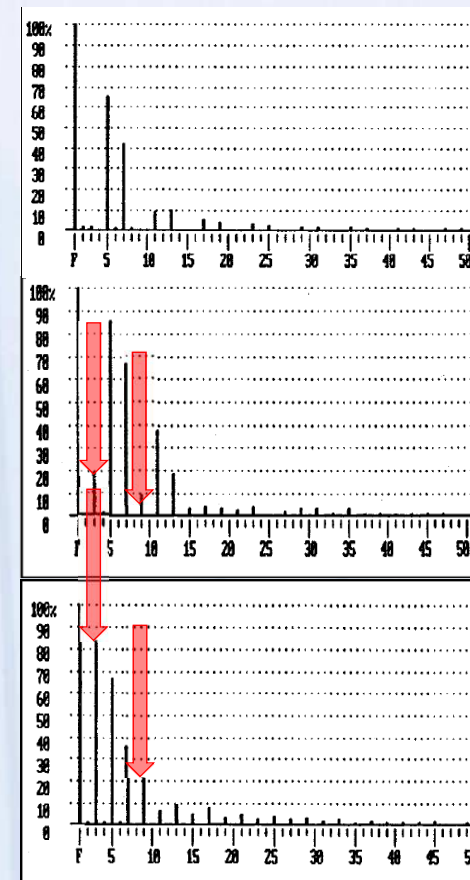
Třífázový uzměřňovač

- 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

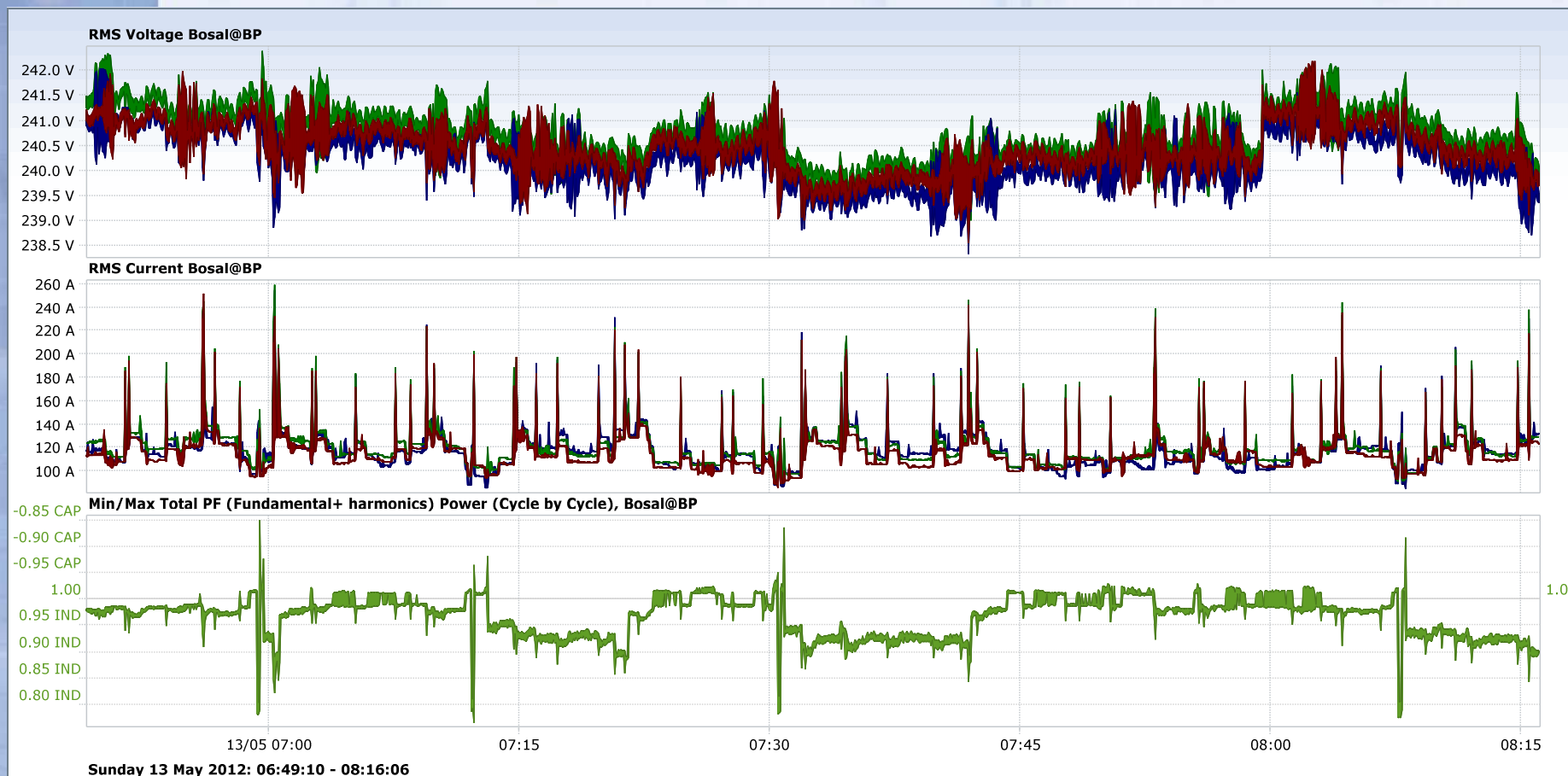
Příčina vzniku:

- 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



Změna měřicího režimu

Přechod

TRANSIENTS CURSOR 
1 - 1 U 2 -2366 U 3 2536 U N - 0 U

50.00 Hz

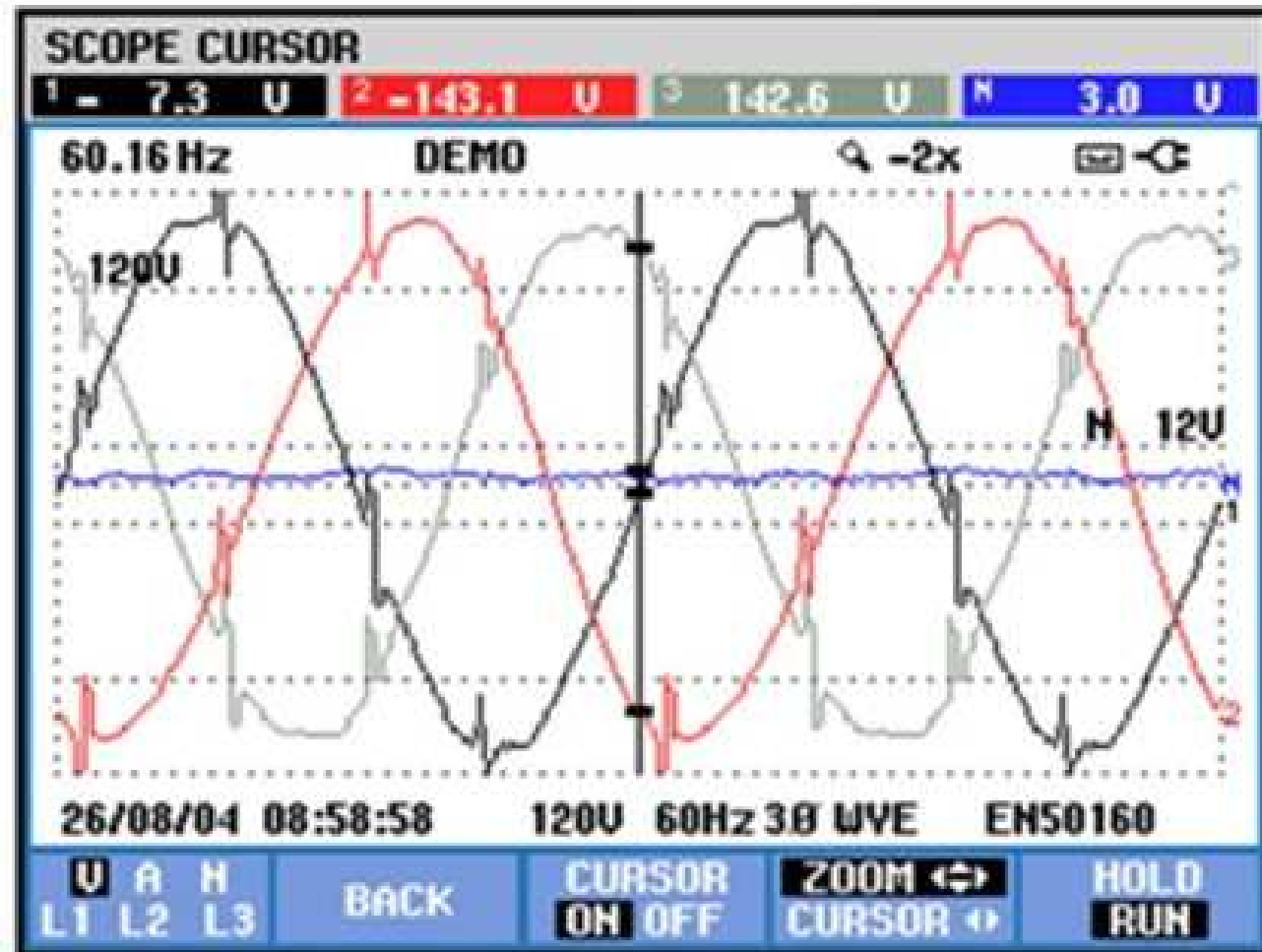
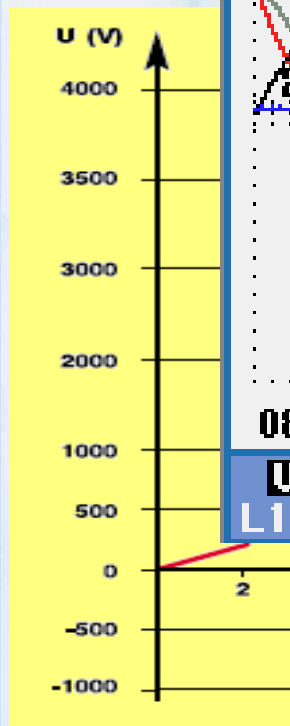
6 of 6 (Trans)

2x

ns

Maximální



Přechodná přepětí impulzní napětí - špičky



Příčina vzniku:

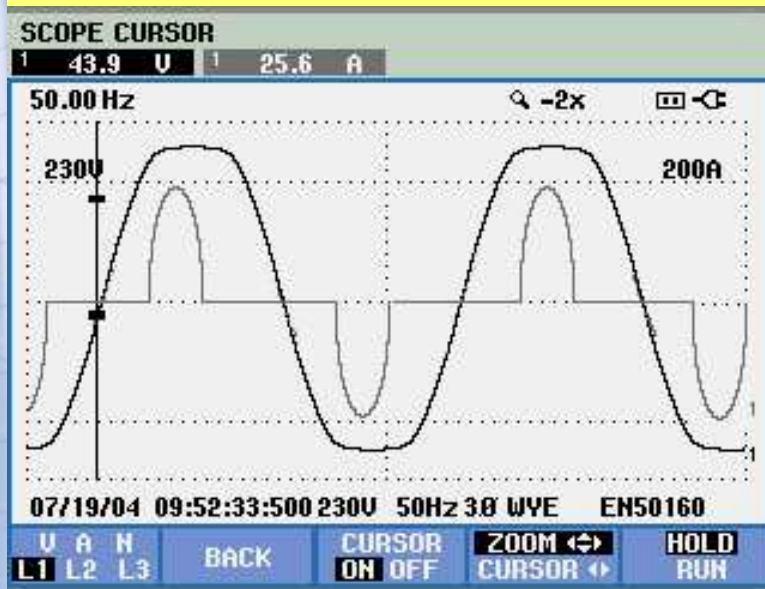
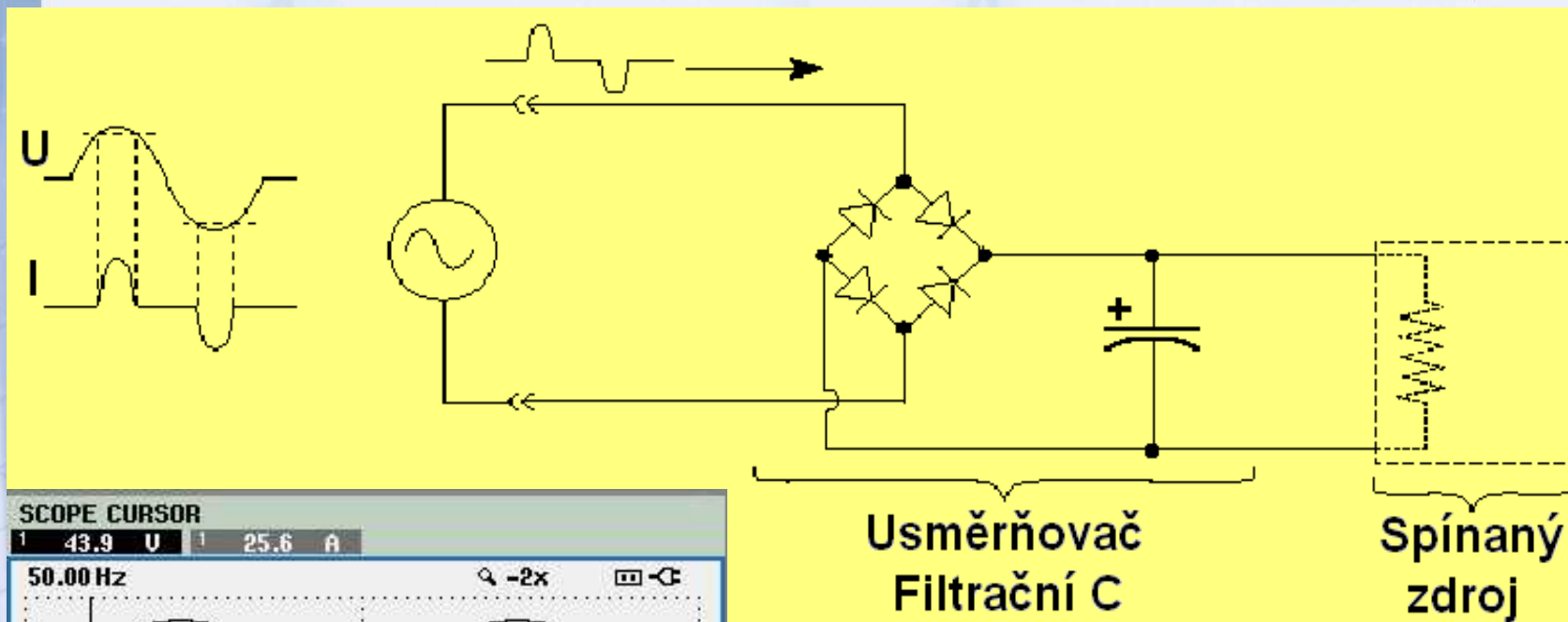
- Spínání a rozpínání zátěží
- Atmosférické poruchy
- Odrazy na vedení
- Zkratky na vedení

Následky:

- Výpadky výrobních zařízení - Prostoje
- Výpadky napájení vlivem zásahu přepět'ových ochran
- Napět'ové průrazy - Poškození izolace

Harmonické

Podstata harmonického zkreslení

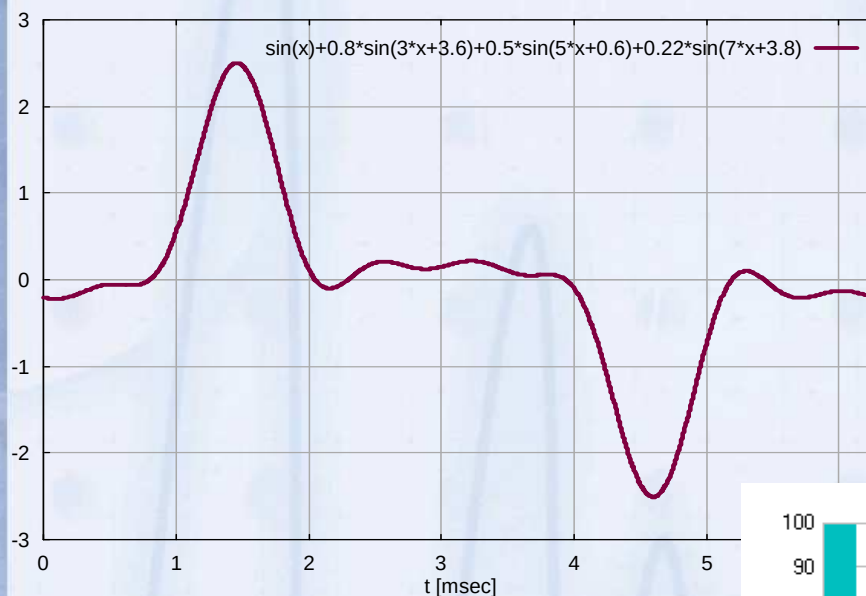


Harmonické zkreslení

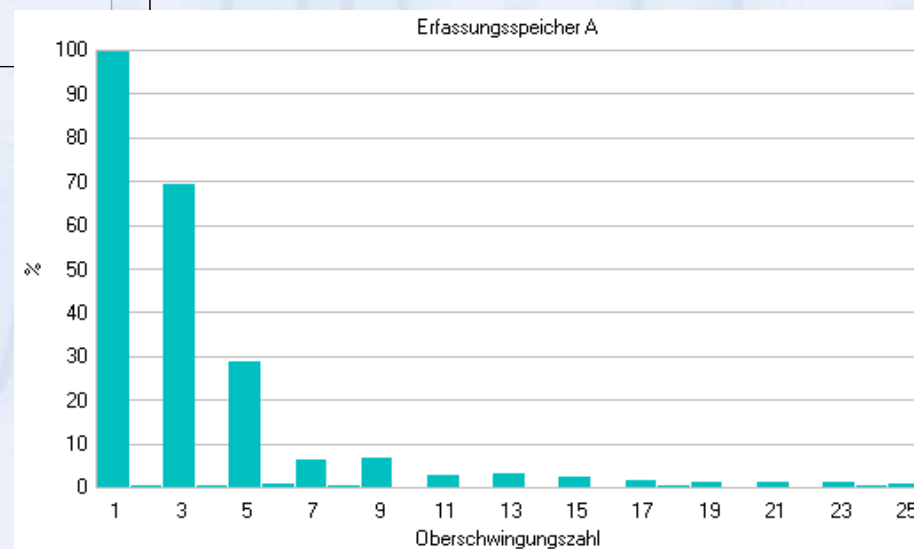


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Rozklad neharmonického proudu na dílčí harmonické složky



Spektrum signálu



Zdroje harmonických



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

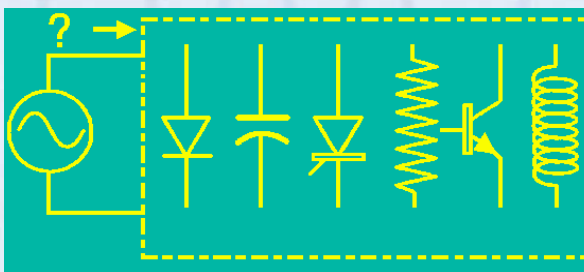
Asynchronní motory řízené elektronickými regulátory otáček

- 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



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

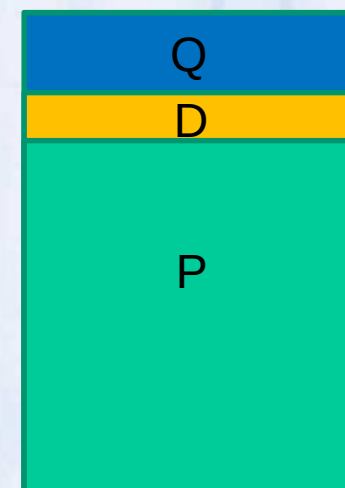
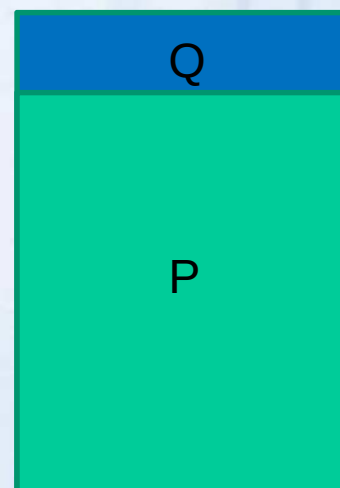
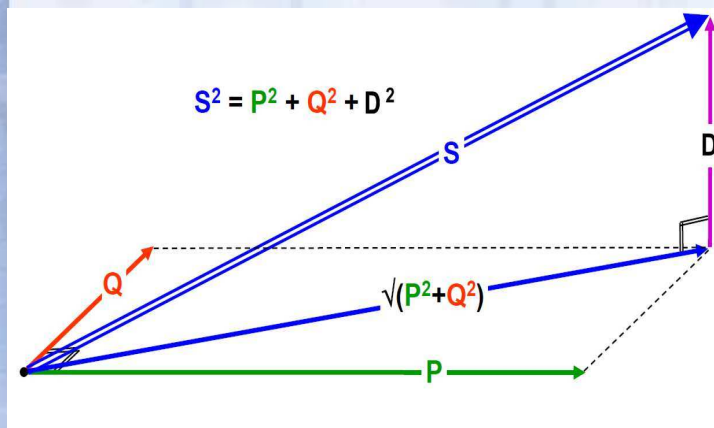
- **Točivé stroje**
 - 3-fázové motory a generátory
- **Transformátory**
- **Kabely**
- **Přídavné oteplení statorového vinutí, oscilace rotoru vedoucí ke ztrátě mechanické stability a zvýšení hluku motoru**
- **Přídavné zvýšení ztrát v železe - Foucaultovými proudy a ve vinutí. Riziko přesycení.**
- **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



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Souhrn elektrických zařízení ovlivňovaných harmonickými

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

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%

Ing. Jaroslav Smetana

Místa kde lze spořit elektrickou energií kvalitou elektřiny

1. Elektrické motory cca 70-80% celkové spotřeby

1. Elektrické pohony
2. Ventilace a klimatizace
3. Tlakový vzduch
4. Svářecí systémy
5. Tvarovací a dělicí stroje
6. Transformovny

2. Nejnižší spotřeba => optimální pracovní podmínky

1. Tepelné
2. Elektrické
3. Mechanické

Jak na to?

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



30.1.2012

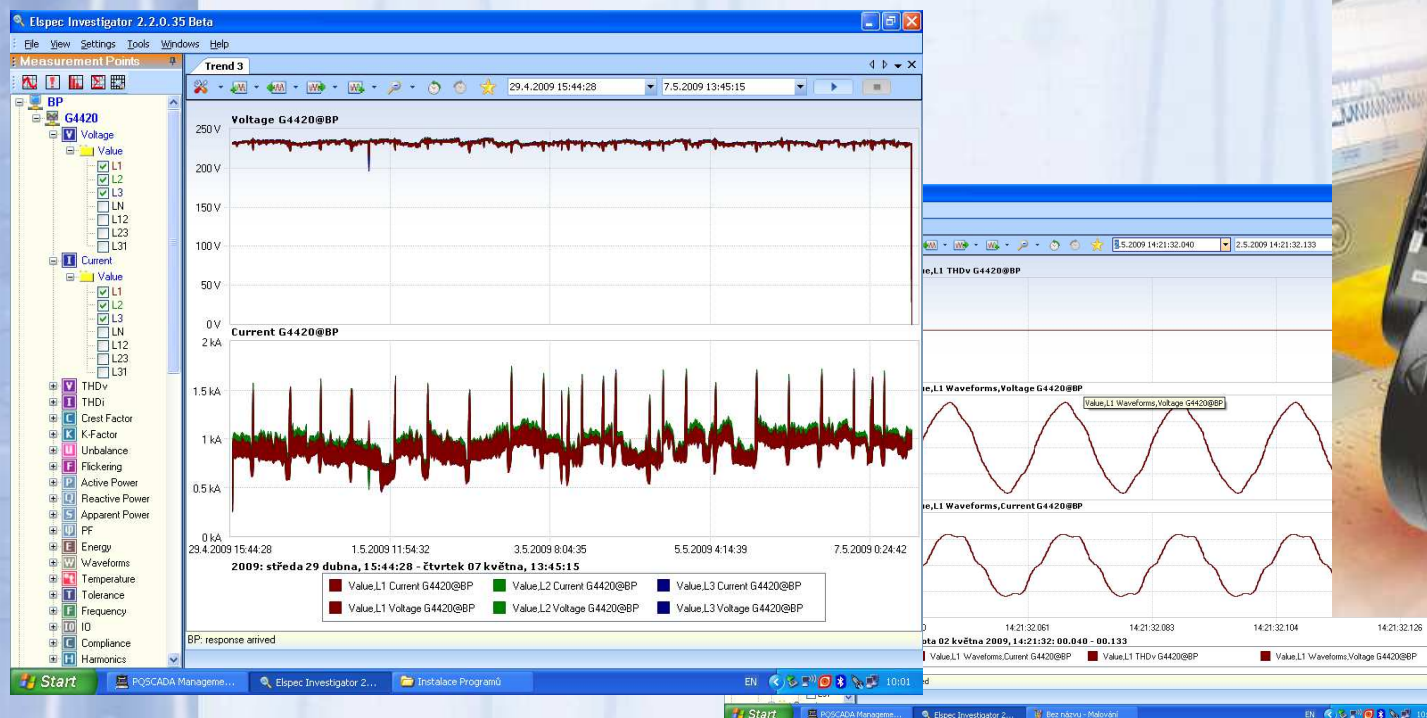
Ing. Jaroslav Smetana

Trvalý monitoring a jeho přínosy

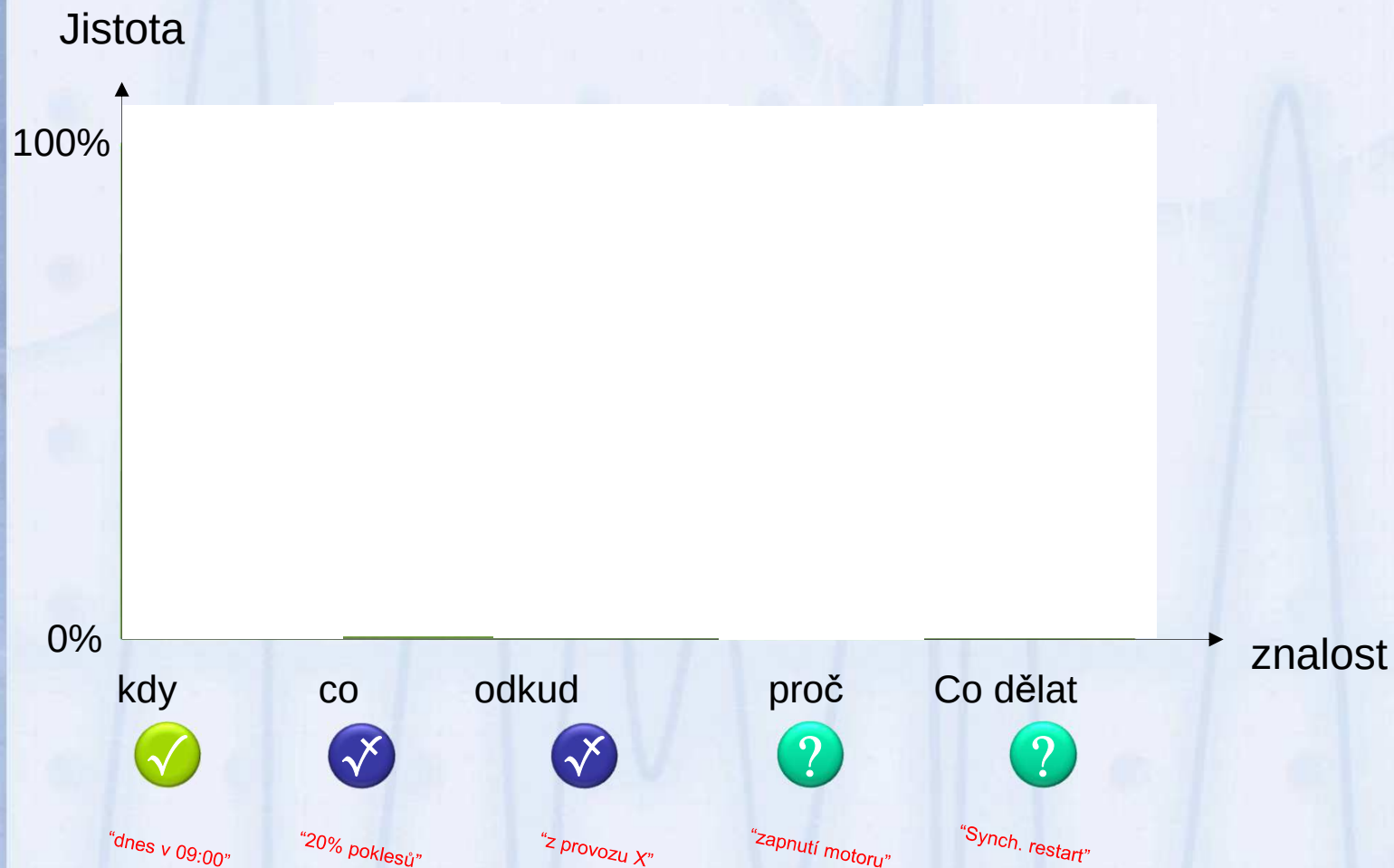


...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

- 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



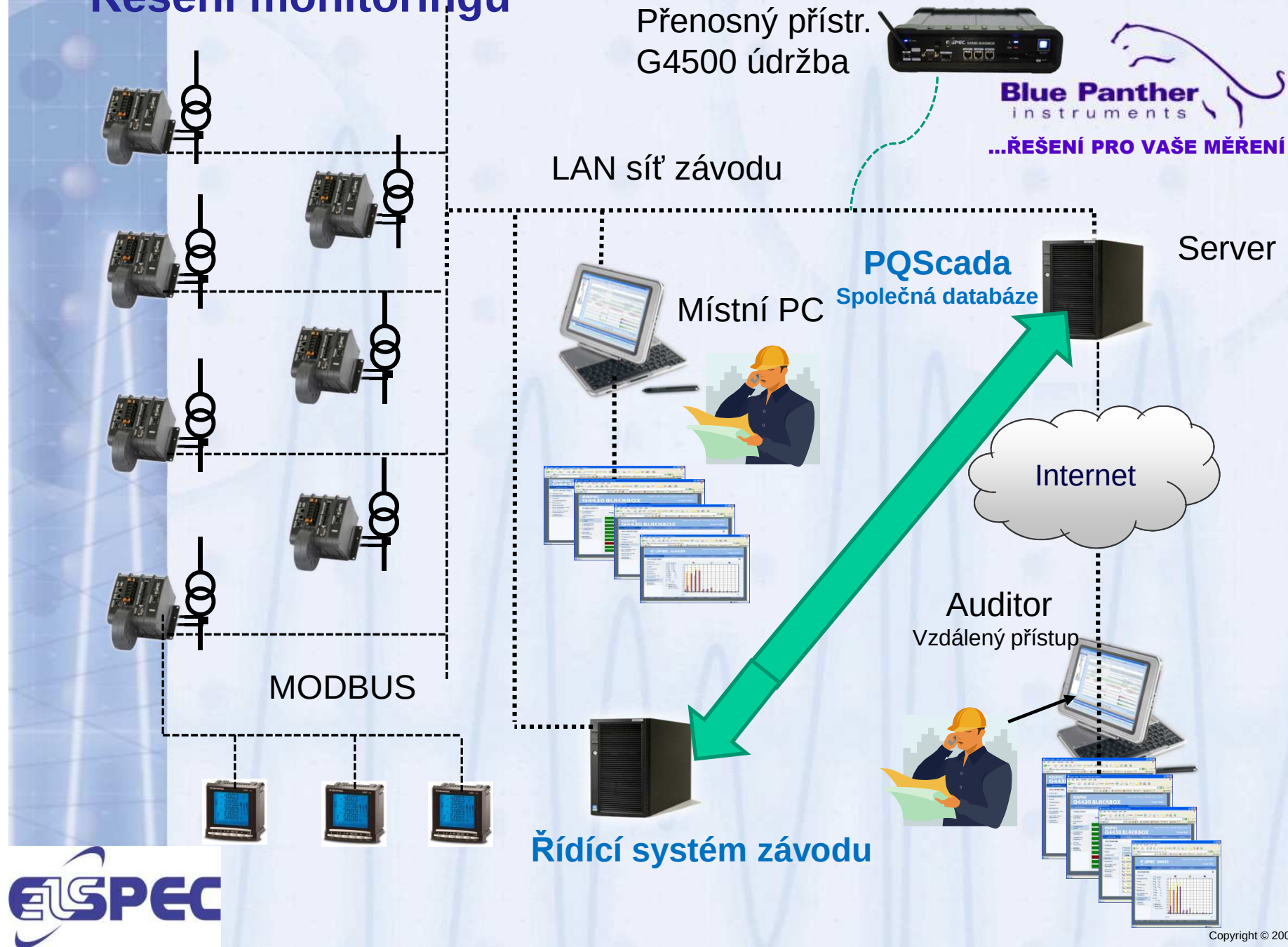
...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

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



Místa s nejvyšší příležitostí úspor

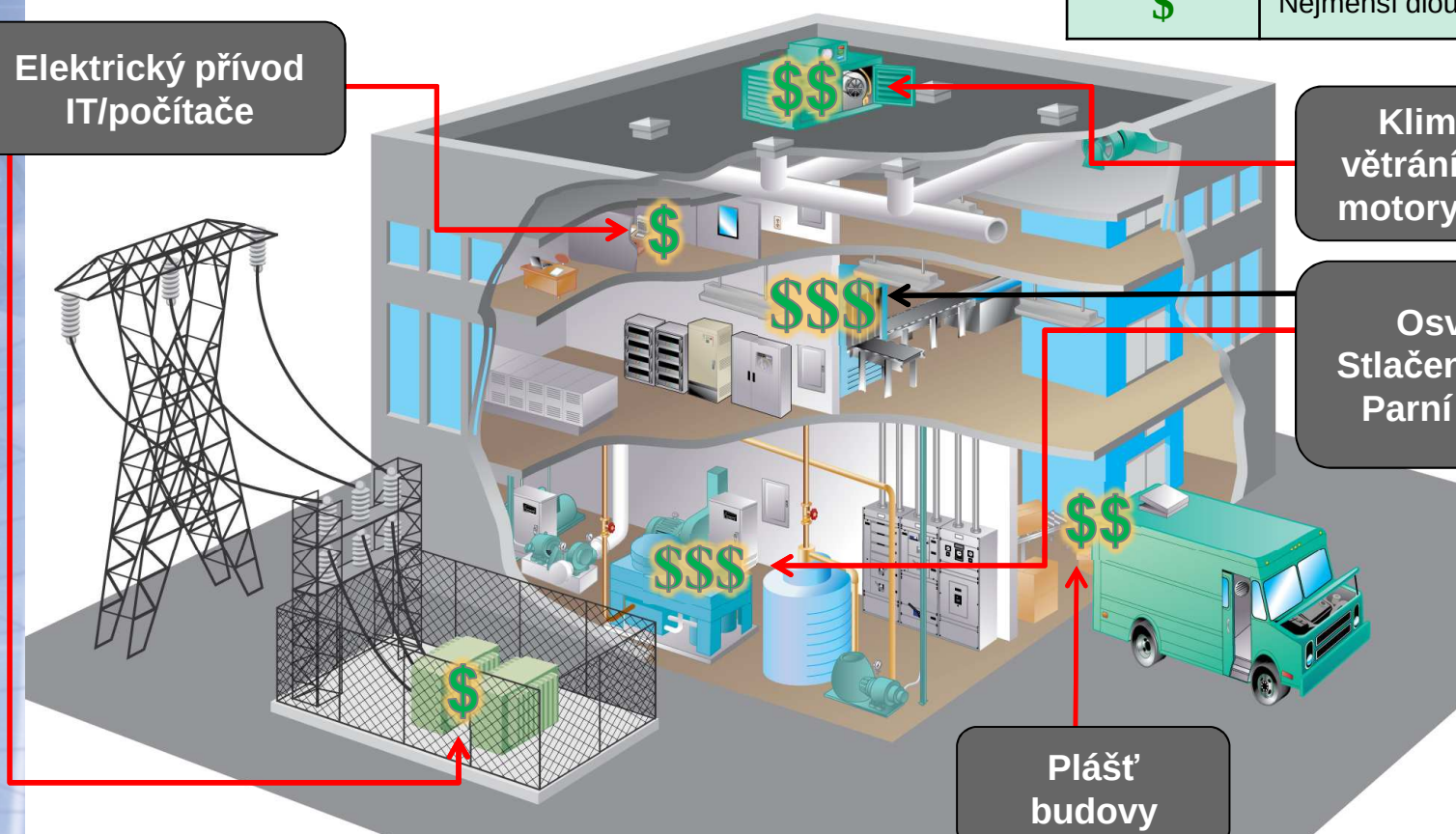
Úspory	
\$\$\$	Největší příležitost
\$\$	Střední příležitost
\$	Nejmenší dlouhodobé příležitosti

Elektrický přívod
IT/počítače

Klimatizace,
větrání, vytápění
motory a pohony

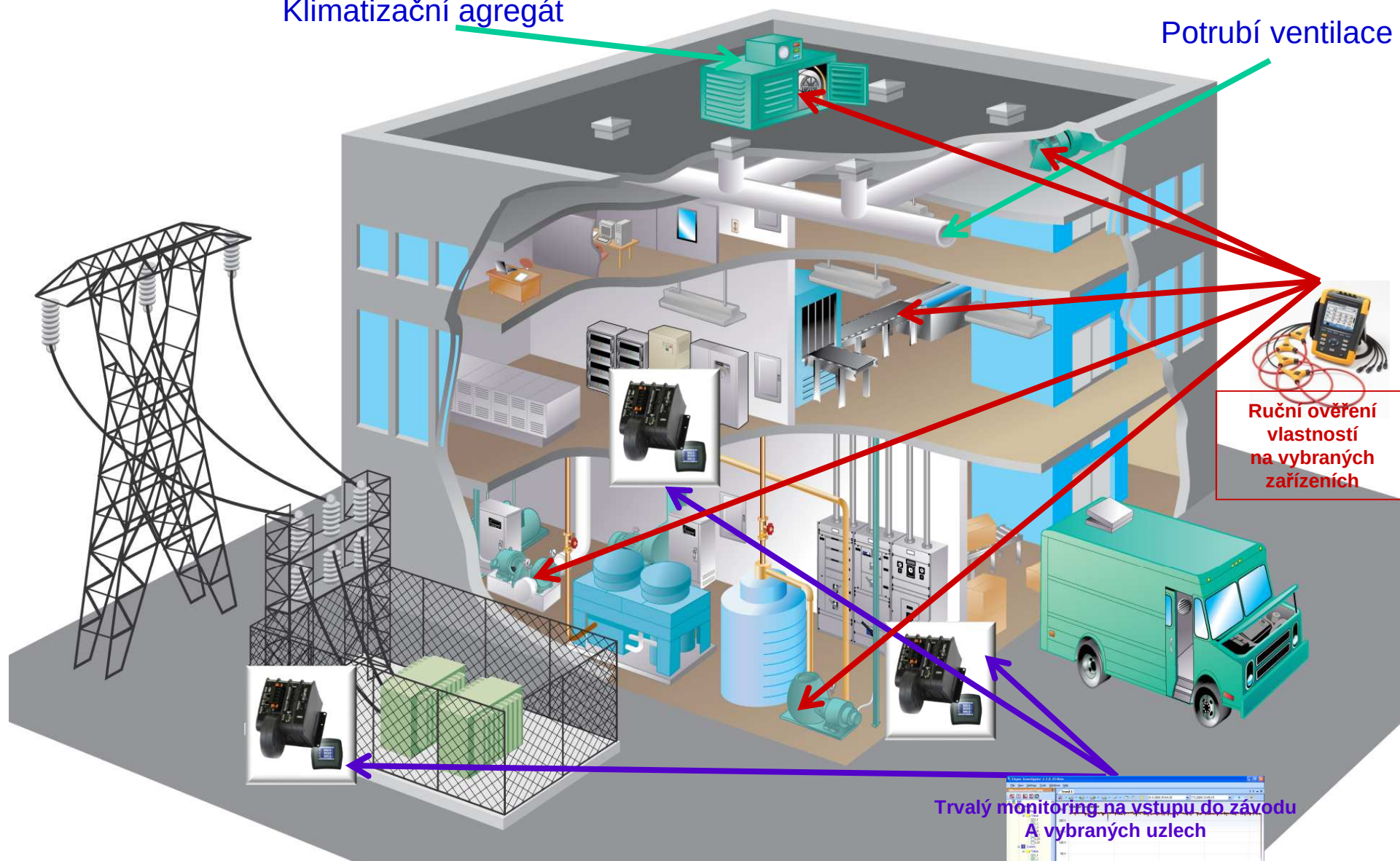
Osvětlení,
Stlačený vzduch,
Parní systémy

Plášť
budovy



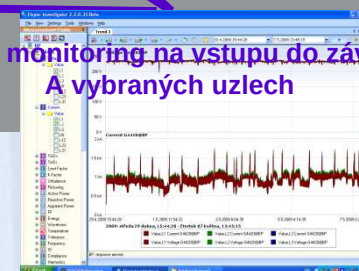
Klimatizační agregát

Potrubí ventilace



23.3.2010

Ing. Jaroslav Smetana





Automatický kalkulátor podílu ztrát



Analyzátor Fluke 435II

Ize 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, vyčísľuje a oceňuje úplné ztráty energie, včetně harmonických, nevyvážením, 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 mm2		0.15 /kWh	RUN	

Délka a průřez kabelu je zabudována do výpočtu ztrát

Určení míst plýtvání v elektrickém systému

Elektrický systém a mapa spotřeby a ztrát



Náprava stavu

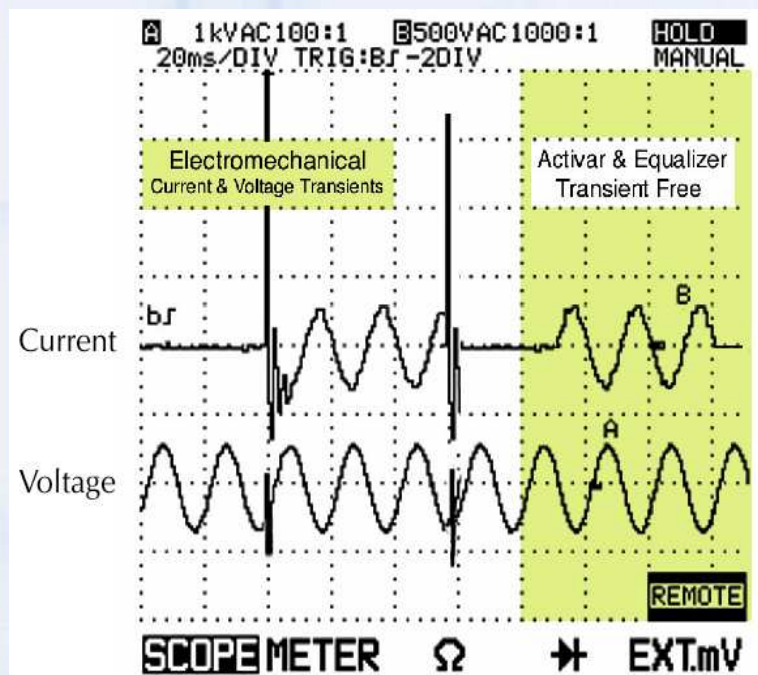
Stabilizace napětí – Účíník - Harmonické složky



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Redukce nadproudů, účíníku a harmonických

Dynamické kompenzace Elspec Equalizer



Ing. Jaroslav Smetana

Hlavní části systému



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

Analyzátor/
kontrolér



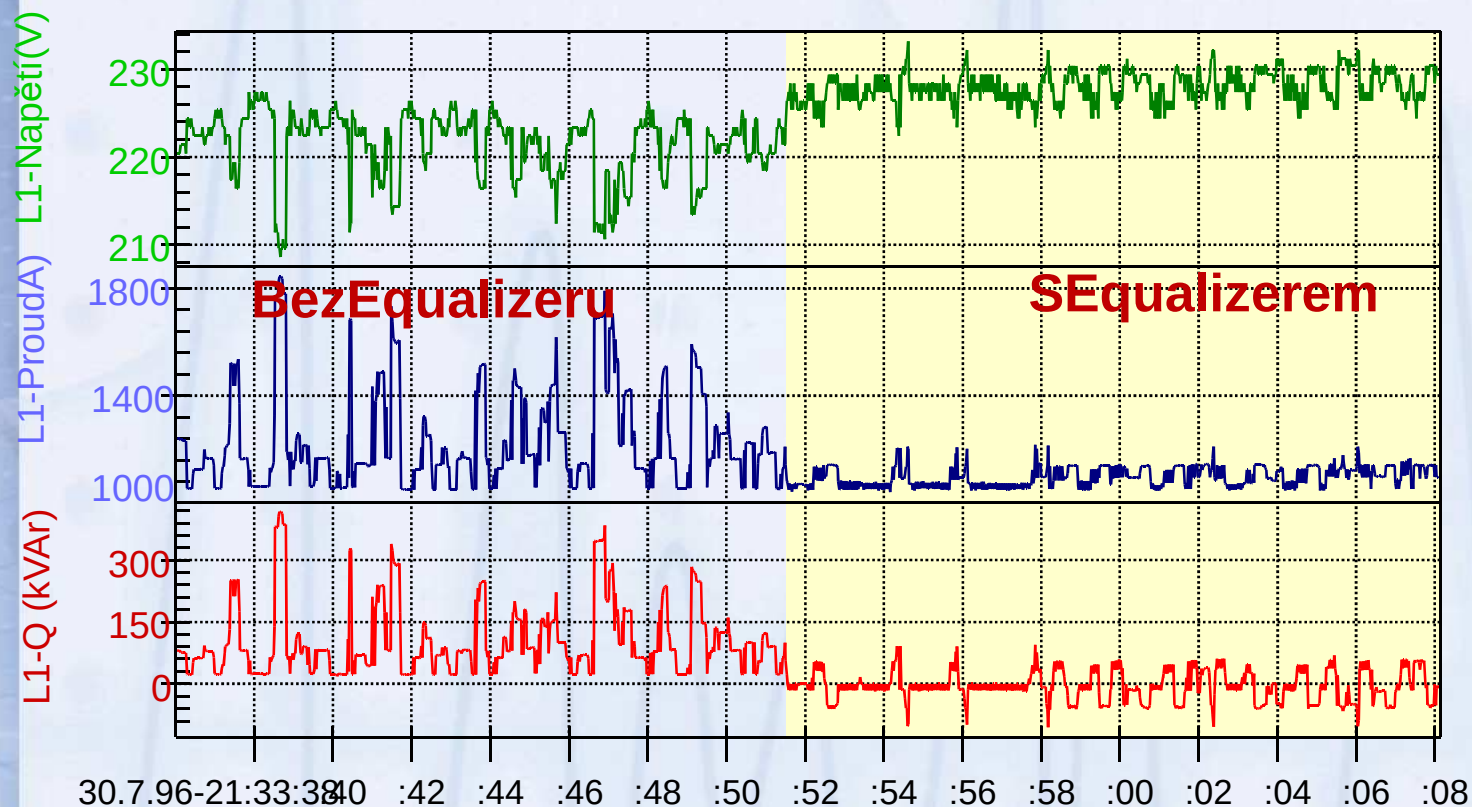
Spínací modul



Modul
Kapacitor/Induktor



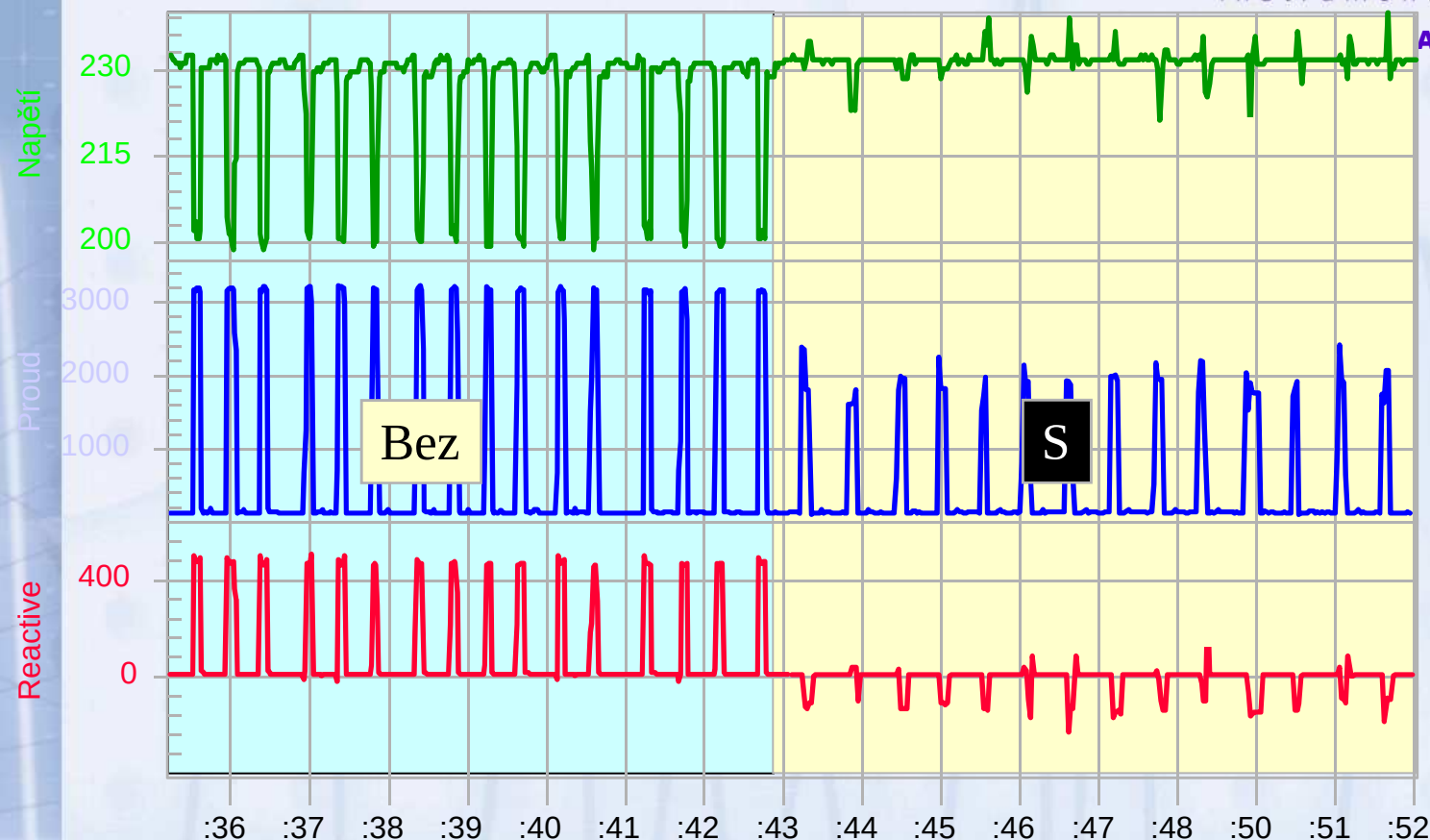
Příklad z automobilového průmyslu



Kompenzace bodových svářeček



AŠE MĚŘENÍ



Bez kompenzace:

Špičkový proud = 3200 Amp.
Špička kVAr = 3*500 kVAr
Pokles napětí = 32 Volt

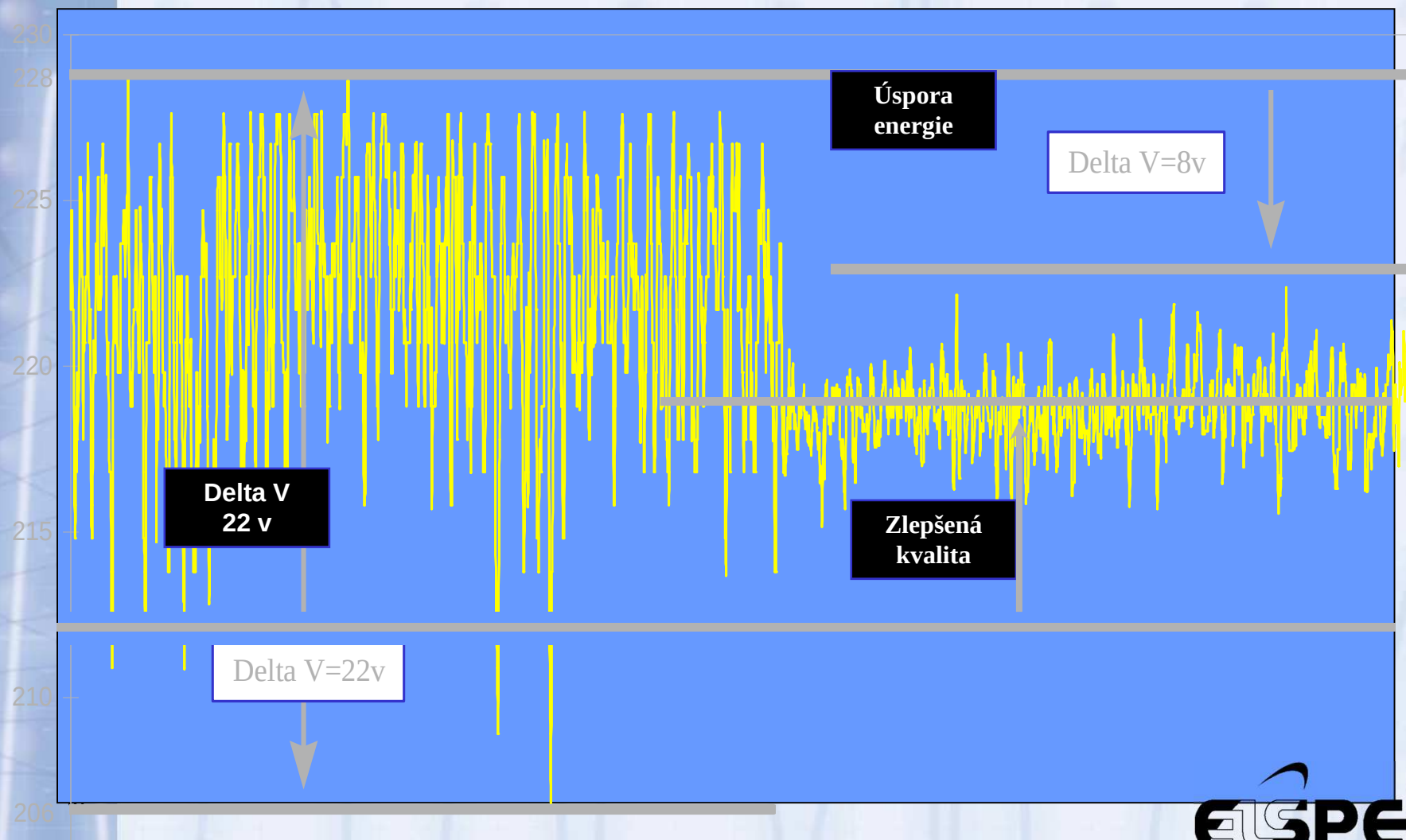
S kompenzací:

Špičkový proud = 2100 Amp.
Špička kVAr = 3*50 kVAr
Pokles napětí = 8 Volt

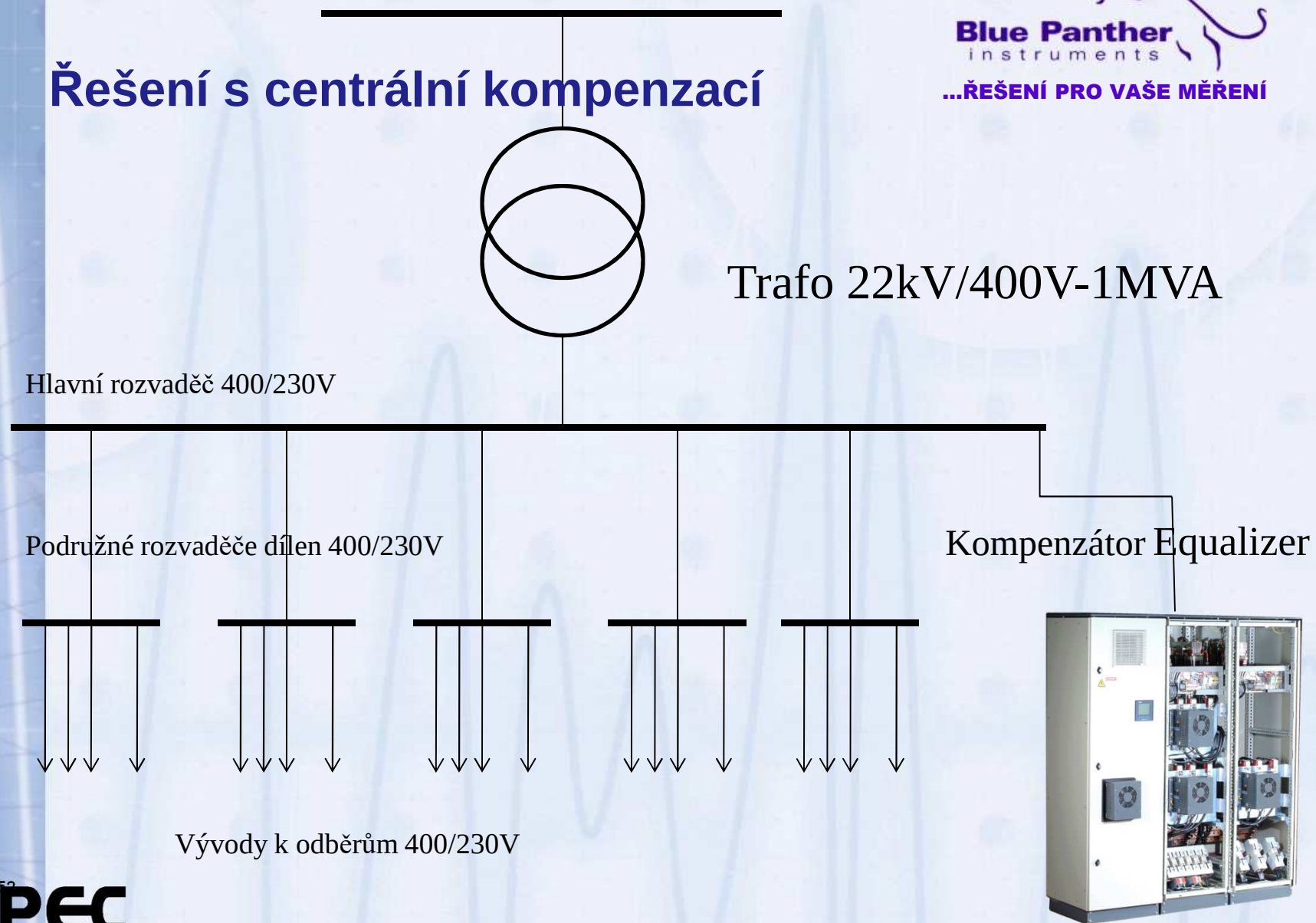
Úspory energie a zlepšení kvality



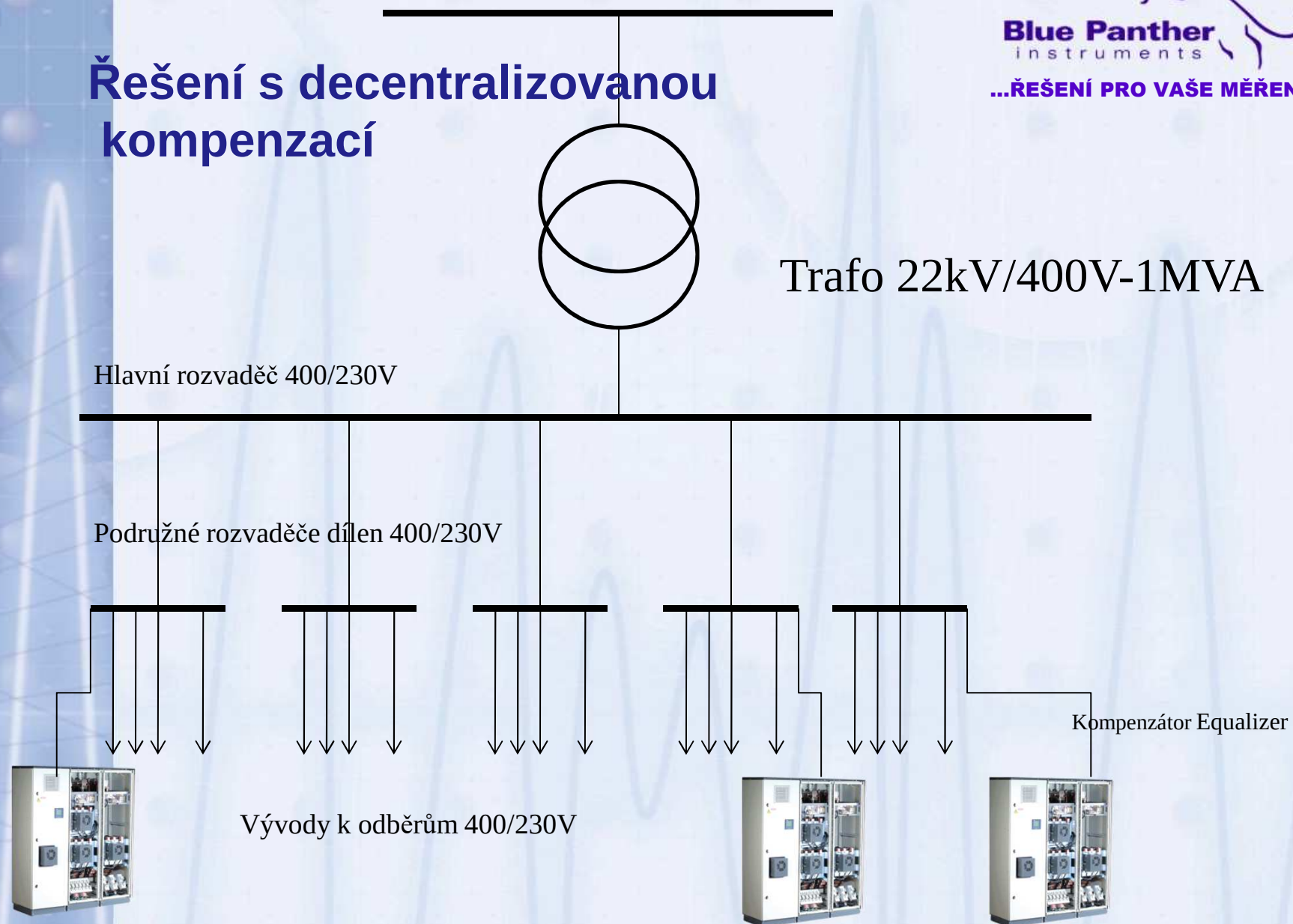
...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



Řešení s centrální kompenzací



Řešení s decentralizovanou kompenzací



Elspec Equalizer



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



- Redukuje napěťové rychlé změny napětí
- **Spoří energii**
- Snižuje výrobní náklady
- **Redukuje náklady na údržbu a výpadky výroby**



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 vzhledem 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 redukci 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.

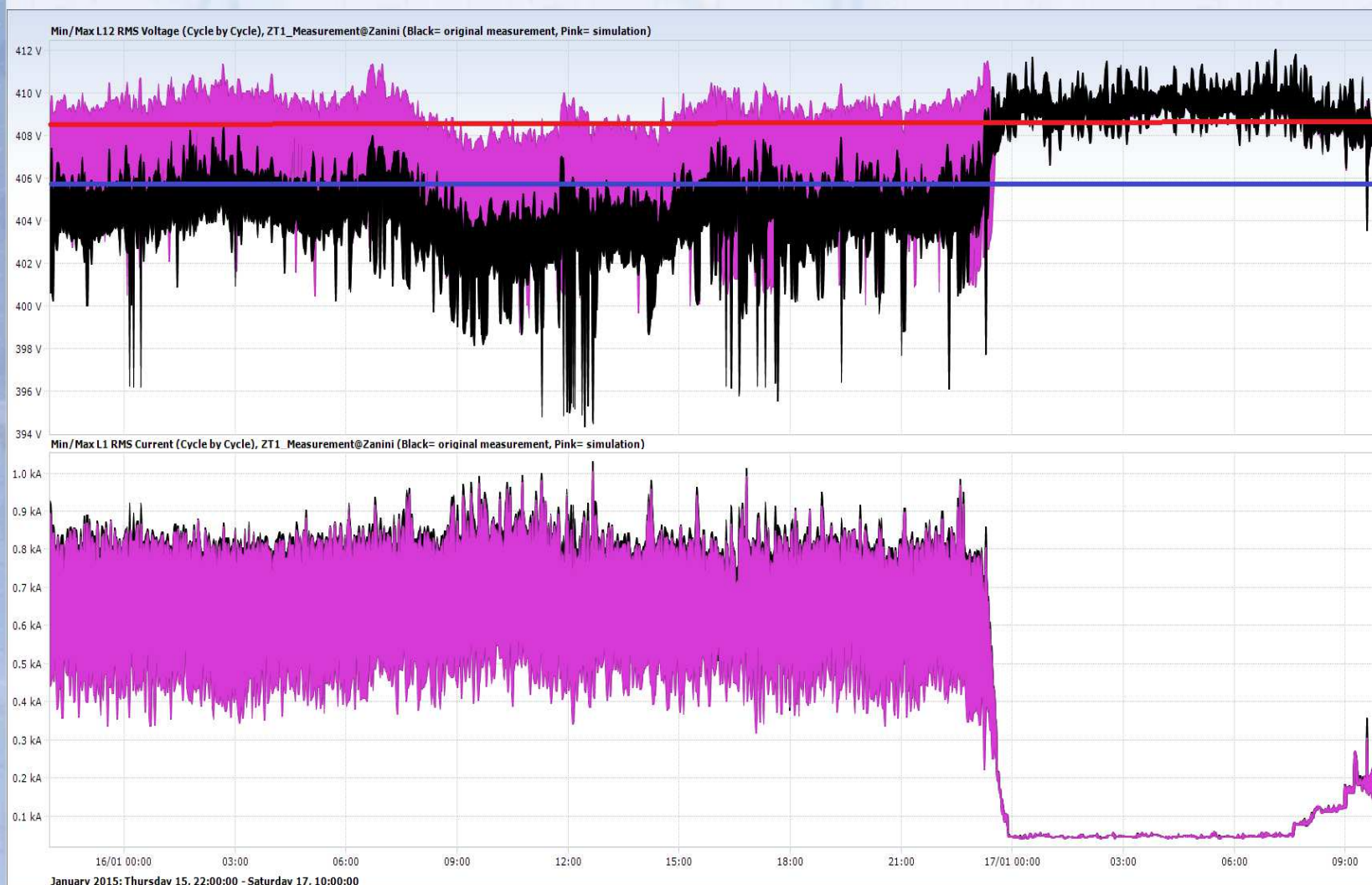
Celková úspora je součtem redukce ztrát z redukce proudu a harmonických a úspor z úpravy napětí.

Simulace úspor energie na T1

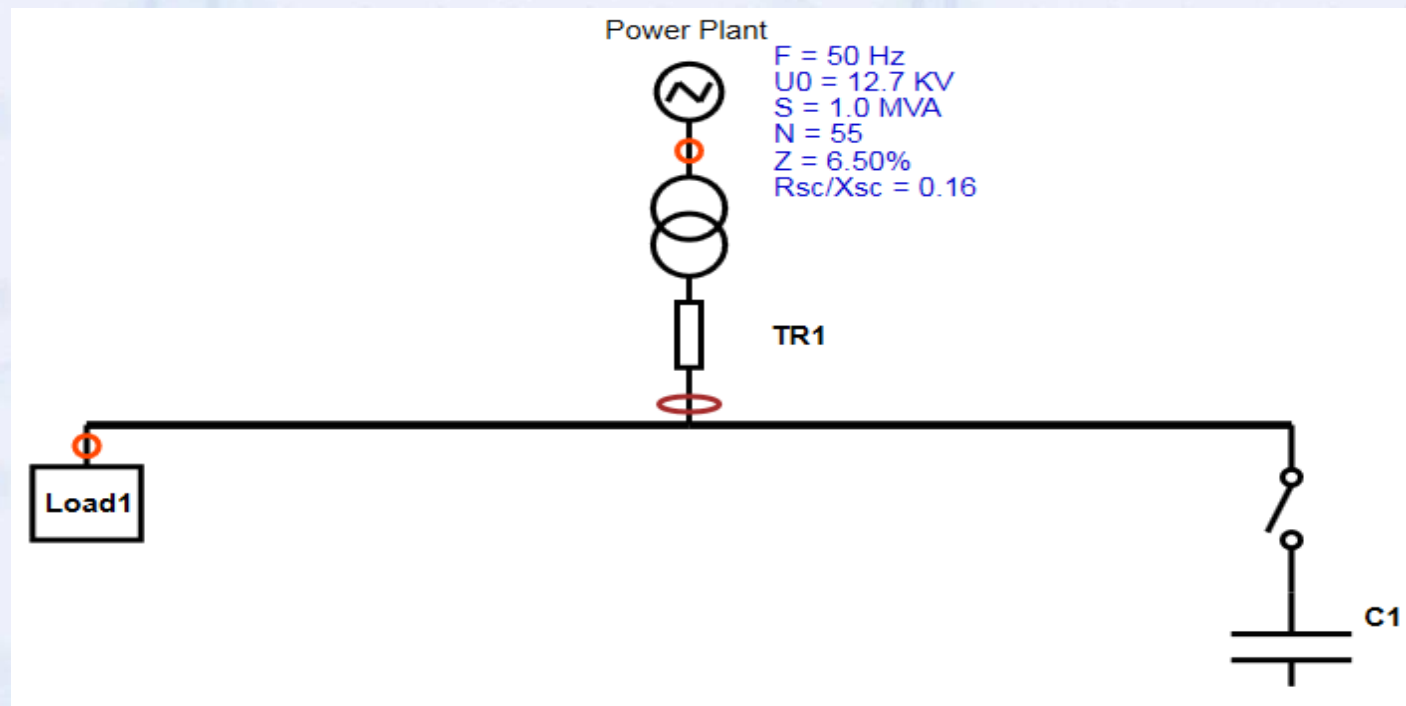
Černá – měření / fialová simulace



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



Řešení úspory energie pro výsledky T1



Řešení úspory energie pro výsledky T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

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

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

Řešení úspory energie pro výsledky T1



VAŠE MĚŘENÍ



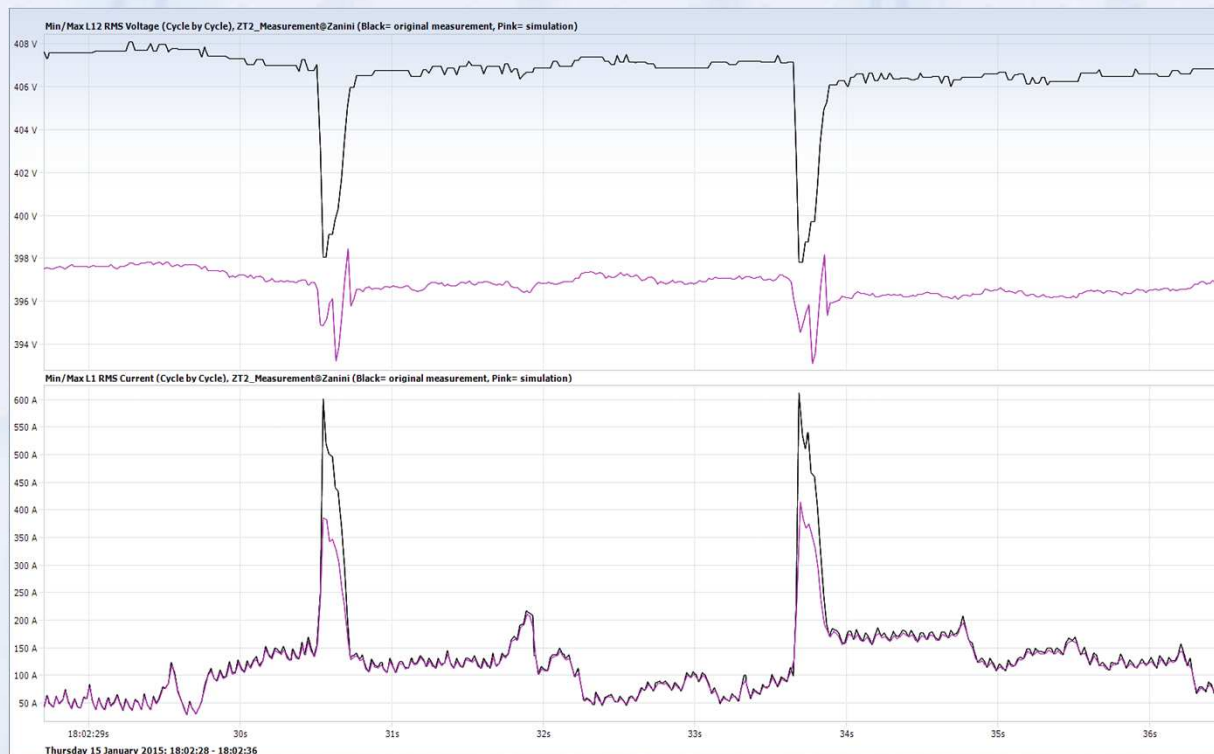
EQ nalaďený na 5. harmonickou je schopen absorbovat 70-80% 5. harmonické na napětí a proudu a také zlepšit úroveň 7.H.

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

Řešení úspory energie pro výsledky T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ



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

Přibližná úspora energie na T1



...ŘEŠENÍ PRO VAŠE MĚŘENÍ

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%
CELKOVÁ ÚSPORA	-4.42%

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%
TOTAL SAVINGS	-8.99%

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**