



## **VUES Brno**

**Motory s vysokou účinností**

Zkušenosti s měřicími metodami a  
interpretací výsledků v rámci EU

*Konference SČZL*

*Bořetice 22.-23. 9. 2011*

## Počátek povědomí o šetření el. energií spadá do začátku 80 let

- Ropná krize
- Havárie v Černobylu
- Výrazný nárůst spotřeby elektrické energie



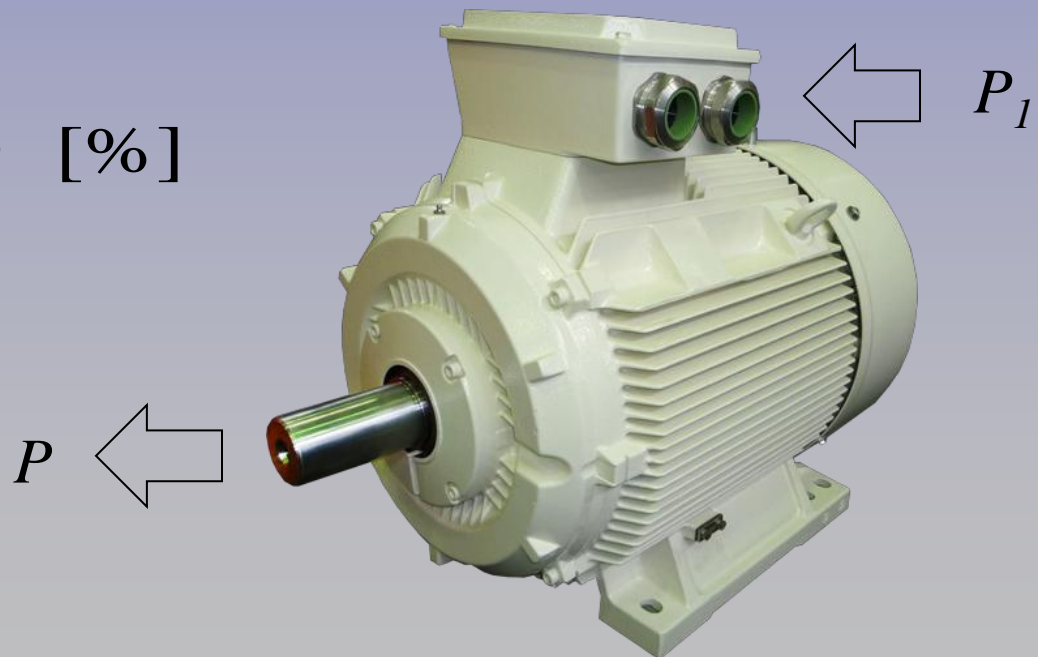
Odhadem 30-40 % elektrické energie je spotřebováváno elektromotory v průmyslu

*Potenciál úspor energie u průmyslových motorů*

- 1/3 v rozmezí výkonů 0,75-4 kW
- 1/3 v rozmezí výkonů 4-30 kW
- 1/3 v rozmezí výkonů 30-500 kW
- další možnost úspory je optimalizací otáček frekvenčními měniči

Mezinárodní agentura pro energii (IEA) v roce 2006 odhadla, že energeticky úsporné motory v kombinaci s frekvenčními měniči by mohla snížit celosvětově spotřebu el. energie o 7 %.

$$\eta = \frac{P}{P_1} * 100 \quad [\%]$$





# HISTORIE

- **1992**- USA minimální úrovně účinností (EPA Act)
- **1998**- EU stanovení tříd účinností motorů (CEMEP)
- **2005**- Přijetí evropské směrnice 2005/32/ES o ekologicky orientovaných výrobcích
- **2007**- USA ustanovení třídy NEMA Premium
- **2008**- EU vydána norma IEC 60034-30 stanoví třídy energetické účinnosti
- **2009**- EU Evropskou komisí vydáno nařízení č. 640/2009 jako prováděcí směrnice 2005/32/ES pro stanovení účinnosti nových motorů.



# CELOSVĚTOVÉ SJEDNOCENÍ KVALIFIKACE ÚČINNOSTI MOTORŮ

<b>EU IEC60034-30</b>	<b>CEMEP Evropská dobrovolná dohoda</b>	<b>US EPAct Zákon o energetické politice</b>
IE1 Standardní účinnost	-	-
IE2 Vysoká účinnost	Vyšší než EFF2	Idt. NEMA Energy efficiency
IE3 Premium	Vyšší než EFF1	Idt. NEMA Premium efficiency
IE4 Super	Připravuje se	

**IEC 60034-30 vztahuje se na nejčastěji užívané motory**

- 2, 4, 6 pólové motory ( $3000 \text{ min}^{-1}$ ,  $1500 \text{ min}^{-1}$ ,  $1000 \text{ min}^{-1}$ )
- výkon 0,75-375 kW



# ZAVÁDĚNÍ MOTORŮ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ

nařízení č.640/2009 Evropské komise  
jako prováděcí směrnice 2005/32/ES

pro stanovení minimální účinnost nových motorů.

<b>Třída</b>	<b>Termín</b>	<b>Oblast</b>
IE2	16.června 2011	Všechny motory
IE3	1. ledna 2015	Motory $> = 7,5 - 375$ kW IE2 jen v kombinaci s nastavitelnými otáčkami
IE3	1. ledna 2017	Motory 0,75 až 375 kW IE2 jen v kombinaci s nastavitelnými otáčkami

*Vztahuje se pouze na motory které z hlediska požadavků na  
vnější vlivy odpovídají normě IEC 60034-1*



# POŽADAVKY NA DOKUMENTACI

## Požadavky na údaje výrobního štítku od 16.června 2011

- Účinnost pro 100,75,50 % jmenovitého výkonu
- Třída účinnosti IE2 nebo IE3
- Rok výroby





# METODIKY STANOVENÍ ÚČINNOSTI

- **1996**- vydána norma IEEE Std 112-1996 sjednocující metodiky pro stanovení účinnosti asynchronních motorů
- **2004**- USA revize IEEE Std 112 doplňující metodiky na základě zkušeností
- **2007** - vychází IEC 60034-2-1: 2007 která shromažďuje měřicí metody pro stanovení účinnosti na základě zkušeností účastníků



# SJEDNOCENÍ METODIK PRO STANOVENÍ ÚČINNOSTI

## IEC 60034-2-1: 2007

- obsahuje i metody prakticky identické s metodami uvedenými v IEEE Std 112-2004
- zavedena současně jako EN 60034-2-1: 2007
- Obsahuje hodnocení míry nejistoty zkušebních metod
  - metoda s nízkou nejistotou
  - metoda se střední nejistotou
  - metoda s vysokou nejistotou

*Round robin test-mezinárodní srovnávací testy*



# KOMERČNÍ ZAVÁDĚNÍ MOTORŮ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ

Nevýhody motorů s vysokou účinností

- Vyžaduje zkušenosti s návrhem motoru
- Je materiálově i technologicky náročnější
- Vyžaduje speciální testovací zařízení a zkušenosti

MOTOR JE DRAŽŠÍ



# KOMERČNÍ ZAVÁDĚNÍ MOTORŮ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ

## MOTIVAČNÍ PROGRAMY

- **USA**-program NEMA-“crush for credit”  
rabat 25 \$/HP - zavedení nového PREMIUM motoru  
rabat 5 \$/HP - likvidace starého motoru
- **UK, Irsko**-programu ECA (Enhanced Capital Allowances –rozšířené kapitálové úlevy)  
Seznam kritérií energetických technologií (ETCL)  
Seznam kritérií energetických výrobků (ETPL)  
*Poskytuje 100% daňové slevy v prvním roce investic do energeticky úsporného zařízení*



# Round robin test

## Mezilaboratorní porovnání

### IEC 60034-2-1: 2007

#### *Cíl:*

Stanovení nejistot ověřovaných normalizovaných metod

#### *Ověřované metody:*

- metoda společná - IEC 60034-2-1: 2007
- IEEE 112:2004
- metoda specifická pro Evropu

#### *Účastníci:*

Evropa	- 9 laboratoří
Severní a jižní Amerika	- 9 laboratoří
Asie a Austrálie	- 3 laboratoře



# Round robin test

## Mezilaboratorní porovnání

### IEC 60034-2-1: 2007

#### *Porovnávací metody:*

- ***Stejný motor***- jedna laboratoř, 5 měření, různé konfigurace-*ověření reprodukovatelnosti*
- ***Stejná konstrukce***-jedna laboratoř, 5 ks motorů stejné konstrukce, jedna konfigurace-*ověření vlivu výroby a materiálů*
- ***Jeden motor***-5 laboratoří - *validace metod*



# Metoda stanovení účinnosti

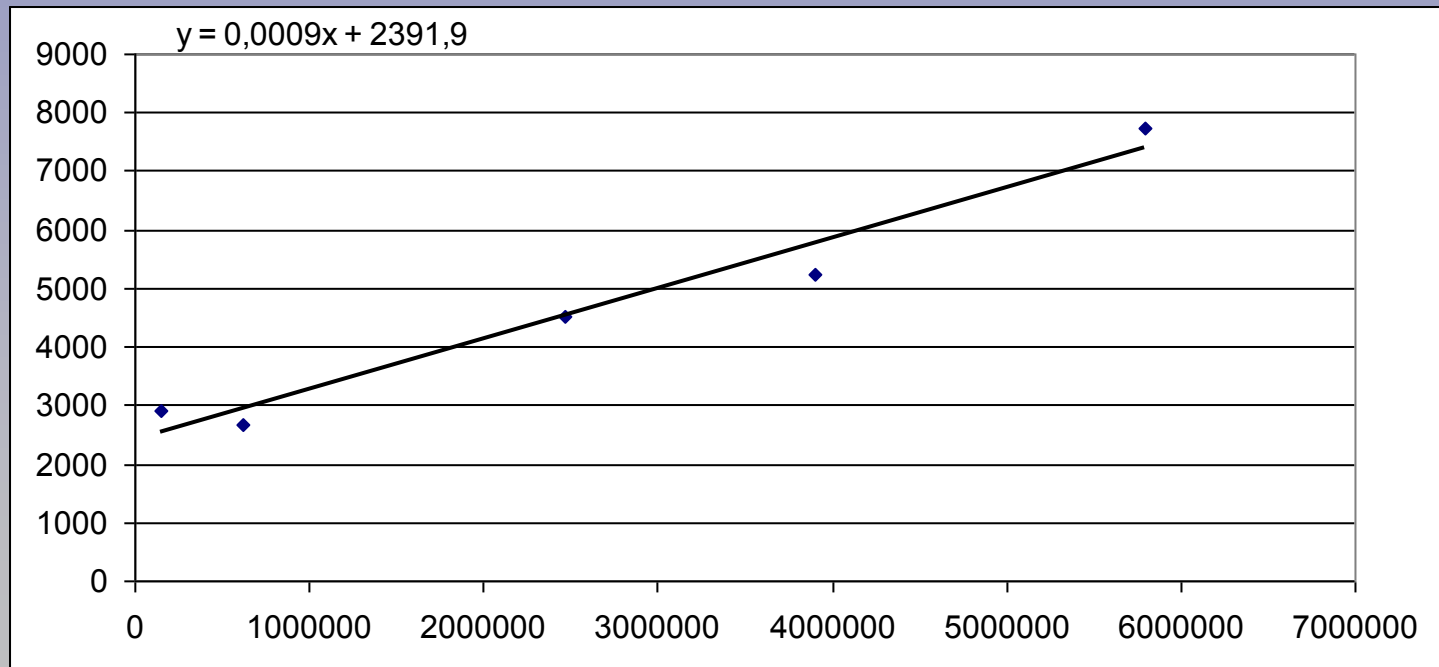
Stator winding resistance after temp. rise test ( $\Omega$ )	0,0155521		$\theta$ winding( $^{\circ}\text{C}$ )	147,2	after 0s	30,8	
Measured points	1	2	3	4	5	6	7
Ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	29,9	30,4	30,1	30,0	29,9	29,9	29,5
Stator winding resistance ( $\Omega$ )	0,01531	0,01531	0,01531	0,01512	0,01493	0,01474	0,014389
Stator winding temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	141,2	141,2	141,2	136,5	131,8	127,1	118,6
Frequency (Hz)	49,91	50,03	49,89	50,14	50,26	50,06	50,16
Synchronous speed (r.p.m.)	1497,2	1501,0	1496,8	1504,3	1507,7	1501,9	1 504,7
Slip (r.p.m.)	28,64	23,16	17,72	13,29	8,45	4,19	0,2
Speed (r.p.m.)	1468,6	1477,8	1479,1	1491,0	1499,2	1497,7	1 504,5
Voltage (V)	399,3	398,0	398,9	401,2	403,0	399,8	400,8
Current (A)	651,6	534,0	428,1	340,2	245,0	170,0	133,0
Power (W)	398670,0	325930,0	258650,0	201290,0	132200,0	67750,0	7 510,0
Iron losses (W)	2 094,3	2 098,5	2 161,2	2 269,2	2 371,7	2 304,3	2 377,0
Joule losses (W)	9 749,6	6 548,1	4 209,2	2 623,8	1 344,1	638,9	381,6
Power output at air gap (W)	386 826,0	317 283,4	252 279,6	196 397,0	128 484,2	64 806,8	4 751,4
Rotor losses (W)	7 399,4	4 895,7	2 986,6	1 735,1	720,1	180,8	0,6
Mechanical losses (W)	1531,5	1531,5	1531,5	1531,5	1531,5	1531,5	1531,5
Sum of losses without additional (W)	20 774,8	15 073,8	10 888,4	8 159,6	5 967,4	4 655,5	4 290,6
Measured torque (Nm)	2412,50	1980,90	1577,00	1207,50	794,10	391,00	8,10
Correction of dynamometer (Nm)	1,70	1,30	0,70	0,60	0,25	0,15	-0,35
Correction of torque (Nm) *	-7,41	-7,41	-7,41	-7,41	-7,41	-7,41	-7,4056
Corrected torque (Nm)	2406,79	1974,79	1570,29	1200,69	786,94	383,74	0,34
Mechanical power (W)	370 155,9	305 618,5	243 232,0	187 478,8	123 550,8	60 187,9	54,3
Sum of losses (W)	28 514,1	20 311,5	15 418,0	13 811,2	8 649,2	7 562,1	7 455,7
Additional losses (W)	7 739,3	5 237,7	4 529,5	5 651,6	2 681,8	2 906,6	3 165,1
crossing point = <b>2391,88</b>	rate of rise = <b>0,00086156</b>	correlation factor = <b>0,9819</b>		cancelled point.: 4		4	
Temperature corrected Joule stator losses (W)	9 622,0	6 454,3	4 151,7	2 588,5	1 326,1	630,2	376,7
Temperature corrected power across air gap (W)	386 953,7	317 377,2	252 337,1	196 432,3	128 502,2	64 815,5	4 756,3
Temperature corrected slip (r.p.m.)	28,25	22,82	17,47	13,11	8,33	4,13	0,2
Temperature corrected speed (r.p.m.)	1468,99	1478,14	1479,35	1491,18	1499,32	1497,76	1504,50
Temperature corrected rotor losses (W)	7 302,3	4 825,1	2 945,3	1 711,4	710,3	178,3	0,6
Correction of additional losses (W)	4 990,7	3 359,9	2 124,5	1 242,1	533,5	126,9	0,0
Corrected sum of losses (W)	25 540,8	18 269,3	12 914,1	9 342,6	6 473,1	4 771,1	4 285,7
Corrected mechanical power (W)	373 129,2	307 660,7	245 735,9	191 947,4	125 726,9	62 978,9	3 224,3
Corrected mechanical power (hp)	500,4	412,6	329,5	257,4	168,6	84,5	4,3
Efficiency (%)	93,59	94,39	95,01	95,36	95,10	92,96	42,93
Power factor (%)	88,48	88,53	87,44	85,15	77,30	57,55	8,14



# Metoda stanovení účinnosti

Stanovení korelačního faktoru přesnosti měření na základě vyhodnocení dodatečných ztrát motoru

Stanovení korekce chyby měření





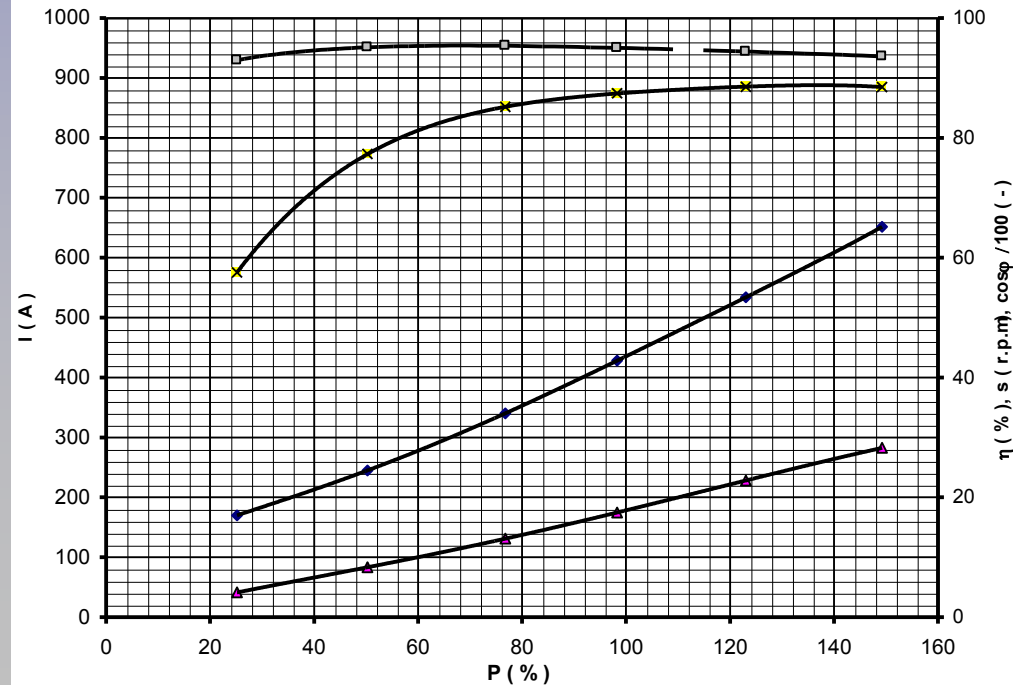
# Metoda stanovení účinnosti

Corrected values

							$P_n$ (W)	250 000
P		$P_1$	I	n	f	s	$\cos\varphi$	$\eta$
%	W	W	A	r.p.m	Hz	r.p.m	-	%
149,3	373129	398670	651,6	1469,0	49,91	28,3	0,88	93,59
123,1	307661	325930	534,0	1478,1	50,03	22,8	0,89	94,39
98,3	245736	258650	428,1	1479,3	49,89	17,5	0,87	95,01
76,8	191947	201290	340,2	1491,2	50,14	13,1	0,85	95,36
50,3	125727	132200	245,0	1499,3	50,26	8,3	0,77	95,10
25,2	62979	67750	170,0	1497,8	50,06	4,1	0,58	92,96

Extrapolated values

P		$P_1$	I	n	f	s	$\cos\varphi$	$\eta$
%	W	W	A	r.p.m	Hz	r.p.m	-	%
25,0	62500	67258	169,5	1497,8	50,06	4,1	0,57	92,93
50,0	125000	131450	244,1	1499,4	50,26	8,3	0,77	95,09
75,0	187500	196597	333,2	1491,5	50,14	12,8	0,85	95,37
100,0	250000	263242	435,3	1479,0	49,89	17,8	0,88	94,97
125,0	312500	331242	542,4	1477,7	50,03	23,2	0,89	94,34
150,0	375000	400784	655,2	1468,8	49,91	28,4	0,88	93,57





# Nejistoty měření

## Stabilita zátěže

Přednostně využívat točivých strojů napájených z měniče

Výhody:

- stabilita zatížení bez ohledu na vnější vlivy
- rychlá změna zatížení - minimalizace teplotních změn při měření při různém zatížení

Přednostně využívat nezávislých napájecích sítí

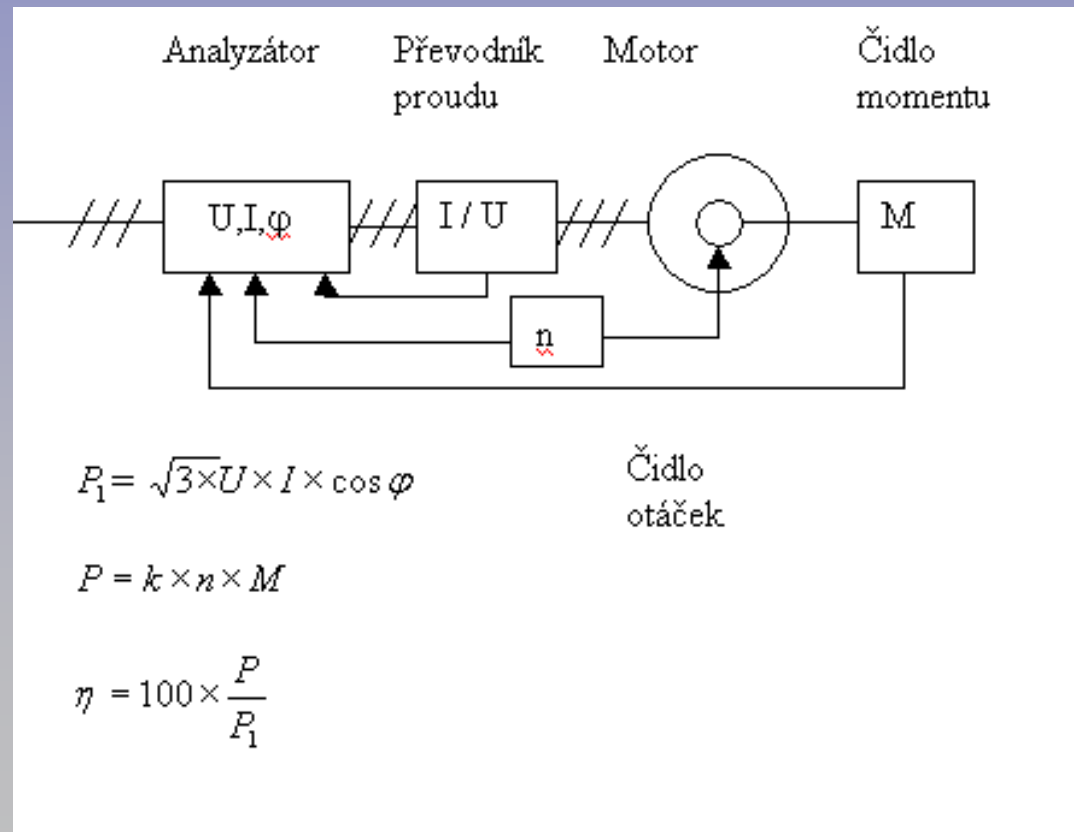
Výhody:

- stabilita napájení bez ohledu na vnější vlivy
- stabilita napájení bez ohledu na zatížení

# Nejistoty měření

Stanovovány obvyklými způsoby-odpovědnost laboratoře

## Ukázka měřícího řetězce





# Nejistoty měření

## Příklad stanovení nejistoty měření

- *Požadovaná účinnost dle IEC 60034-30 vč. limitu dle IEC 60034-1*

$$\eta = 95,10 - 0,49 \%$$

- *Rozšířená nejistota měření stanovená obvyklým způsobem výpočtem z tříd přesnosti přístrojů*

$$U = 0,92\% \text{ jmenovité účinnosti}$$

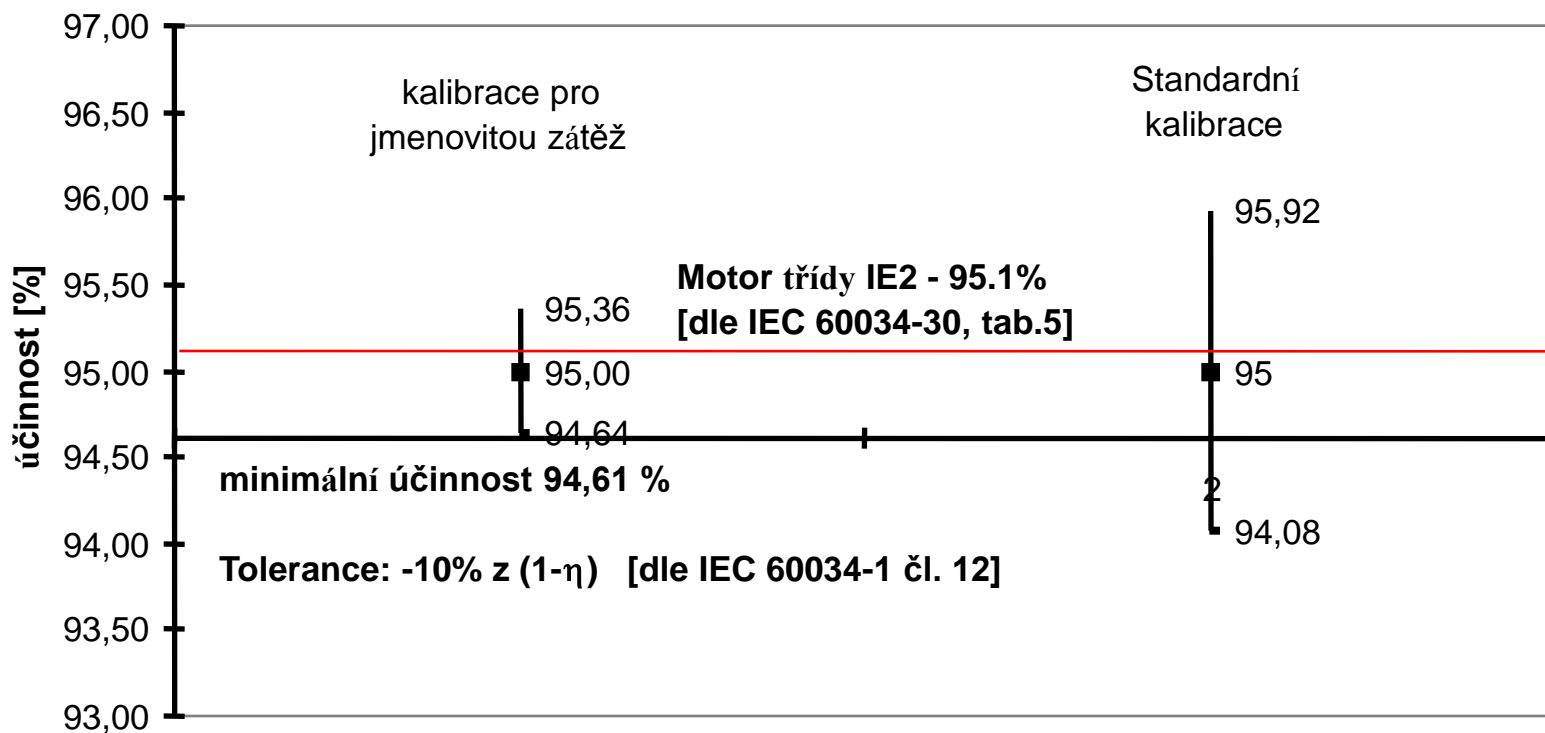
- *Rozšířená nejistota měření stanovená kalibrací řetězce pro jmenovité zatížení*

$$U = 0,36\% \text{ jmenovité účinnosti}$$

# Nejistoty měření

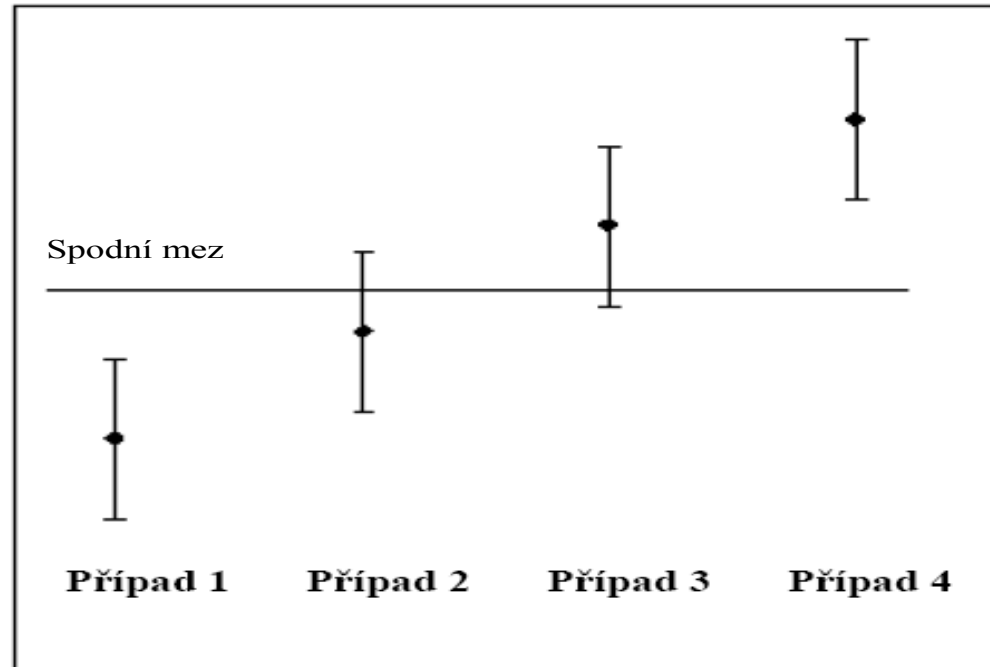
## Presentace výsledků měření

**Presentace účinnosti na základě norem:  
IEC 60034-30:2008; IEC 60034-1:2004; IEC 60034-2-1:2007**

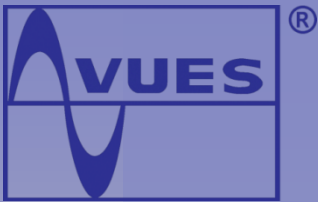


# Nejistoty měření

## Doporučený komentář výsledků



- *Případ 1* - nevyhovuje
- *Případ 2* - hodnota je mimo požadovanou mez, avšak vzhledem k nejistotě měření nelze rozhodnout
- *Případ 3* - hodnota je v požadované mezi, avšak vzhledem k nejistotě měření nelze rozhodnout
- *Případ 4* - vyhovuje



# Požadavky na podmínky při zkouškách

- Požadavky na napájení motoru
  - symetrii napětí
  - symetrii proudu
  - podíl vyšších harmonických
  - podíl protiběžné a nulové složky napětí
- Požadavky na pracovní podmínky
- Podmínky oteplovací zkoušky, definice teplotně ustáleného stroje



# Shrnutí požadavků

**IEC 60034-30** - stanovení požadavků na účinnost dle tříd IE1, IE2, IE3

**IEC 60034-2-1** - stanovení metodiky měření a výpočtu účinnosti

**IEC 60034-1** - stanovení tolerancí, stanovení podmínek napájení motorů při zkouškách, podmínky pro oteplovací zkoušku stroje, pracovní podmínky stroje

**Stanovení nejistot měření**-je odpovědnost laboratoře

Hodnocení výsledků zkoušek závisí vždy na certifikačním orgánu.

Pokud je hodnocení vyžadováno po laboratoři, je vždy nutno stanovit dokument, na základě kterého je hodnocení prováděno.





**DĚKUJI  
ZA POZORNOST**