

# Účinnost elektrických motorů a snižování spotřeby elektrické energie

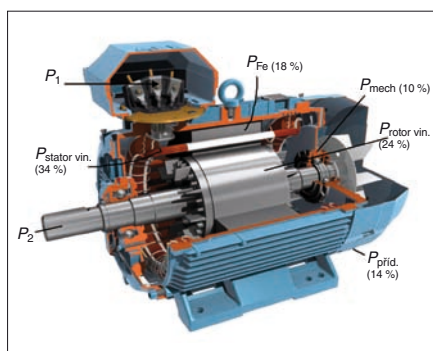
Ing. Naděžda Pavelková, produktový manažer ABB s. r. o.

Trend současné doby je zaměřen na snižování spotřeby elektrické energie. Jedním z významných hledisek, která mohou vést ke značným úsporám, je sledování účinnosti elektrických motorů. Účinnost  $\eta$  je poměr mezi mechanickým výkonem na hřídeli ( $P_2$ ) a elektrickým příkonem na svorkách statorového vinutí ( $P_1$ ). Větší účinnost znamená, že motor přeměňuje elektrický příkon na mechanický výkon s menšími ztrátami. Tento údaj o motoru tak může být kamínkem na míse vah rozhodujícím o pořízení nového motoru. Účinnost motoru je natolik významným pojmem, že v současné době probíhají i některé změny v legislativě. Cílem je stanovení pravidel pro výrobce a spotřebitele tak, aby technicko-ekonomické posuzování bylo sjednocené a jasně definované.

## Ztráty v elektrickém motoru

Účinnost motoru je měřítkem, jak přeměňuje motor elektrickou energii na užitečnou práci. Ztráty v tomto procesu způsobují oteplování motoru. Účinnost motoru tedy závisí na ztrátách motoru. Ztráty v motoru lze rozdělit do pěti hlavních oblastí (obr. 1):

- mechanické ( $P_{\text{mech}}$ ),
- v železe ( $P_{\text{Fe}}$ ),
- ve vinutí statoru ( $P_{\text{stator. vin.}}$ ),
- ve vinutí rotoru ( $P_{\text{rotor. vin.}}$ ),
- přídavné ( $P_{\text{přid.}}$ ).



Obr. 1. Procentní rozložení ztrát v motoru ABB typu M3BP

**Mechanické ztráty** vnikají třením v ložiskách a patří mezi ně zejména ztráty ventilací. Ztráty třením v ložiskách jsou u zaběhaného motoru a při stálé teplotě prakticky lineárně závislé na otáčkách, zatímco ztráty ventilací závisí na vyšší mocnině otáček.

Vypočet **ztrát v železe** je méně přesný z důvodu nelineárních magnetizačních charakteristik materiálů, které tvoří magnetický

obvod motoru. Ztráty v železe lze rozdělit na ztráty hysterezní a na ztráty vířivými proudy. Tyto ztráty lze určit na základě vztahu, kde se vyskytuje hysterezní materiálová konstanta, magnetická indukce, frekvence, hmotnost a činitel charakterizující daný druh materiálu.

**Ztráty ve vinutí statoru a rotoru** lze určit z proudové hustoty v drážce, proudu procházejícího vodiči drážky, z počtu závitů v drážce, z geometrie drážky, měrného odporu materiálu vinutí a délky vinutí.

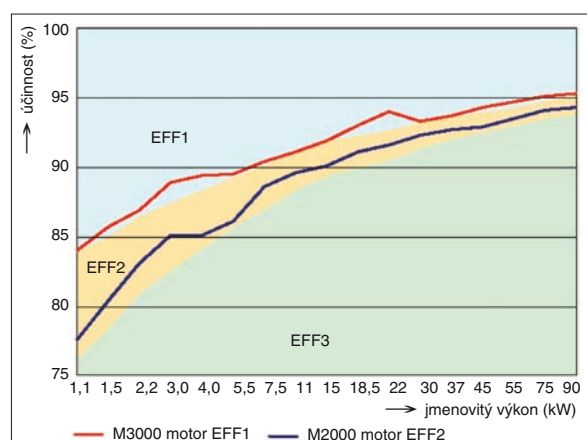
**Ztráty přídavné** jsou obvykle vířivého charakteru a jsou způsobovány rozptylovými toky prostorových harmonických, nerovnoměrnostmi ve vzduchové mezeře a pulzací toku. Definovat přídavné ztráty je proto mnohem složitější.

## Vliv konstrukce motoru na jeho účinnost

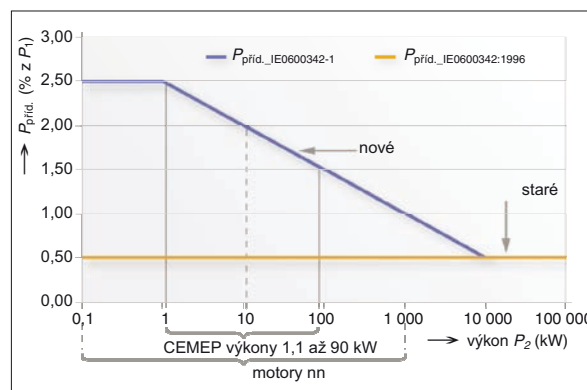
Při návrhu motoru je proto nutné z konstrukčního hlediska zvážit vliv všech výše uvedených prvků, přičemž základním omezením je normami definovaná velikost kostry. Ztráty v železe lze ovlivnit použitím kvalitních materiálů, ztráty ve vinutí rotoru lze snížit zvětšením rozměrů tyčí a kruhů, což vede ke snížení odporu. Na ztráty ve statorovém vinutí má vliv návrh rozměrů drážky a tloušťka izolace – zmenší-li se, lze zvýšit průřez vodičů ve statoru. Mechanické ztráty dané odporem vzduchu a ztráty třením v ložiskách mohou být redukovány částečně výběrem kvalitních ložisek a těsnění a zvláště optimalizovaným návrhem chladičového ventilátoru. Motor s větší účinností má menší ztráty, proto může mít menší ventilátor, což vede rovněž ke snížení hladiny hluku. Významným prvkem pro návrh motoru je velikost vzduchové mezery mezi rotorem a statorem. Větší vzduchová mezera snižuje výrobní náklady. Všeobecně menší vzduchová mezera zlepšuje účinnost a účinek motoru. Extrémní zmenšování rozměrů vzduchové mezery vede dokonce k ještě lepšímu účinku. Účinnost se ale zmenšuje a navíc je třeba posoudit vibrace motoru.

## Další výhody použití motorů s větší účinností

Při použití kvalitních materiálů a menšího ventilátoru přinášejí motory s větší účinností kromě úspor ve spotřebě elektrické energie také delší dobu životnosti, menší nároky na údržbu, menší hlučnost a rovněž snížení emisí CO<sub>2</sub>. Elektrické motory jsou stále tažným koněm průmyslu a představují kolem 65 %



Obr. 2. Příklad účinností motorů EFF1 a EFF2



Obr. 3. Přřazení činitele pro odhad přídavných ztrát

spotřeby elektrické energie. Použití motorů s větší účinností se jistě vyplatí, neboť náklady na spotřebu elektrické energie během jejich životnosti jsou stokrát vyšší než náklady na jejich pořízení.

## Rozdělení motorů do účinnostních tříd

Rozdělení účinnostních tříd podle evropských směrnic, které platilo od roku 1998, stanovuje tři třídy účinnosti motorů, a to EFF1, EFF2 a EFF3, kde EFF1 představuje největší účinnost. Příklad účinností pro čtyřpólové

motory ABB, napětí 400 V, 50 Hz, zatížení  $S_1$ , výkony 1,1 až 90 kW je na obr. 2.

ABB nabízí výpočetní program, ve kterém lze jednoznačně stanovit úspory elektrické energie při použití motorů EFF1 místo EFF2.

Toto rozdělení bylo založeno na měření účinnosti podle EN/IEC 60034-2:1996. V současné době je tato norma nahrazována EN/IEC 60034-2-1:2007 (ČSN EN 60034-2-1:2008 Točivé elektrické stroje – Část 2-1: Standardní metody určování ztrát a účinnosti ze zkoušek – s výjimkou strojů pro trakční vozidla), kde jsou stanovena nová pravidla pro testování motorů za účelem stanovení ztrát a účinnosti. Během přípravy revize normy IEC 60034-2:1972 a dodatku IEC 60034-2 A1:1995 a IEC 60034-2 A2:1996 bylo odsouhlaseno její rozdělení do tří sekcí:

- první část (IEC 60034-2-1) se vztahuje na stroje podle normy IEC 60034-1, které jsou normálně testovány zatěžovacím strojem, tedy motory limitovaných výkonů,
- druhá část (IEC 60034-2-2) se týká především testování velkých strojů, kde je cena zařízení pro ostatní metody neekonomická,
- třetí část (IEC 60034-2-3) platí pro testování strojů určených pro napájení z měničů frekvence.

Změna normy EN/IEC 60034-2:1996 byla iniciována především pro třífázové asynchronní motory pro napětí do 690 V a ve výkonovém rozsahu od 1 do 100 kW. Zde se totiž ukázalo, že určení přídatných ztrát jako 0,5 % příkonu je příliš malé. Právě tak tolerance účinnosti 15 % podle IEC 60034-1 pro motory do 150 kW vede ke značně optimistickým hodnotám.

### Měření účinnosti motorů podle EN/IEC 60034-2:1996 a EN/IEC 60034-2-1:2007

Měření účinnosti může být buď přímé, nebo nepřímé. Při přímém měření je příkon motoru měřen wattmetry, výkon na hřídele motoru je určen z otáček a momentu. Nepřímé měření je založeno na měření příkonu a výpočtu výkonu ze ztrát v motoru. Rozdíl mezi starým a novým určováním účinnosti je uveden v tab. 1.

Výrobce si může vybrat, kterou metodu pro měření účinnosti zvolí. V dokumentaci k motoru však musí být jednoznačně uvedeno, na jakém principu byla účinnost měřena. Je jasné, že pro porovnání účinnosti motorů od různých výrobců je třeba vždy vybrat stejnou metodu měření. Katalogy ABB pro motory nn daných výkonů v současné době uvádějí účinnosti podle EN/IEC 60034-2:1996 i podle EN/IEC 60034-2-1:2007, a to jak pro plně zatížení, tak pro ¾ zatížení.

V tab. 2 jsou pro porovnání uvedeny výsledky určení účinnosti čtyřpólového motoru různými způsoby. Přídatné ztráty určované odhadem byly odečteny z grafu na obr. 3 podle citované normy.

Z uvedeného je zřejmé, že nový systém pro určení účinnosti při použití nepřímé metody

Tab. 1. Porovnání EN/IEC 60034-2:1996 a EN/IEC 60034-2-1:2007

	Test účinnosti podle IEC 60034-2:1996	Nový test účinnosti podle IEC 60034-2-1:2007
<b>Reference pro teplotu</b>	ztráty ve vinutí statoru a rotoru určené při 95 °C, teplota okolí 20 °C	ztráty ve vinutí statoru a rotoru určené při (25 °C + skutečně naměřené oteplení), teplota okolí 25 °C
<b>Metoda měření</b>	<i>nepřímá:</i> – pevně daná hodnota; $P_{přid}$ je 0,5 % příkonu při jmenovitém zatížení	<i>nepřímá:</i> tři možnosti, vybraná musí být uvedena v dokumentaci: – měření; $P_{přid}$ počítané ze zatěžovacího testu (vybráno pro motory ABB) – odhad; $P_{přid}$ je 2,5 až 1,0 % pro příkon při jmenovitém zatížení v rozmezí 0,1 až 1 000 kW – matematický výpočet; matematický výpočet $P_{přid}$
	<i>přímá</i>	<i>přímá</i> (žádná změna)

Tab. 2. Příklad výpočtu účinnosti pro čtyřpólový motor (11 kW,  $\Delta T$  56 K)

Ztráty	IEC 60034-2:1996	IEC 60034-2-1:2007 měření (ABB)	IEC 60034-2-1:2007 odhad (z křivky)
$P_{mech}$	68 W	68 W	68 W
$P_{Fe}$	223 W	223 W	223 W
$P_{stator. vin.}$	484 W přepočteno na 95 °C ( $\Delta T$ 75 K + 20 °C $T_{okoli}$ )	463 W skutečně naměřená hodnota při 81 °C ( $\Delta T$ 56 K + 25 °C $T_{okoli}$ )	463 W
$P_{rotor. vin.}$	258 W přepočteno na 95 °C ( $\Delta T$ 75 K + 20 °C $T_{okoli}$ )	262 W přepočteno na 105 °C ( $\Delta T$ 80 K + 25 °C $T_{okoli}$ )	262 W
$P_{přid.}$	60 W počítáno $P_1 \times 0,5 \%$	156 W vypočteno $P_1 - P_{mech} - P_{Fe} - P_{stator. vin.} - P_{rotor. vin.} - P_2$	234 W
<b>ztráty celkem</b>	1 093 W	1 172 W	1 250 W
<b>výkon + ztráty</b>	12 093 W	12 172 W	12 250 W
<b>účinnost</b>	90,96 %	90,37 %	89,80 %

Tab. 3. Tolerance účinnosti

Výkon (kW)	Naměřená účinnost	Povolená tolerance podle IEC 60034-1	Hodnota v katalogu ABB (s použitím pouze 1/3 z povolené tolerance)
11 (čtyřpól)	90,37 %	-15 % ( $1 - \eta_{kat}$ )	90,82 %
160 (čtyřpól)	95,40 %	-10 % ( $1 - \eta_{kat}$ )	95,55 %

a určení přídatných ztrát měřením vede k přesnějším výsledkům. Tento způsob si pro měření účinnosti motorů nn vybralo ABB. Další sporný bod, a to tolerance uváděné účinnosti  $\eta$  podle IEC 60034-1:2004, která je -15 % ( $1 - \eta_{kat}$ ) pro motory do 150 kW včetně a -10 % ( $1 - \eta_{kat}$ ) pro motory nad 150 kW, se společnost ABB jako výrobce motorů rozhodla řešit tak, že v katalogu uvádí hodnoty určené jako jedna třetina z hodnoty povolené. Pro názornost je uveden příklad v tab. 3. Tímto způsobem ABB udává hodnoty  $\eta$  na bezpečné straně (tj. nepatrně horší než skutečnost).

### Připravovaná norma IEC 60034-30

Vzhledem k tomu, že stále platí rozdělení účinnostních tříd EFF1, EFF2 a EFF3, založené na určování účinnosti podle EN/IEC 60034-2:1996, pracuje se v současné době na nové normě IEC 60034-30, která bude nově definovat třídy účinnosti třífázových asynchronních motorů do 1 000 V o výkonech 0,75 až 200 (370) kW. Tato norma by měla vstoupit v platnost v roce 2009. Připravuje se rozdělení do následujících tříd:

- IE1: *Standard* – kompatibilní s EFF2, přizpůsobená novému způsobu určení účinnosti,
  - IE2: *High* – kompatibilní s EFF1, přizpůsobená novému způsobu určení účinnosti,
  - IE3: *Premium* – extrapolována z IE2 s menšími ztrátami o 10 až 15 %,
  - IE4 (zatím informativně): *Super-Premium* – extrapolována z IE3 se ztrátami menšími o 10 %.
- Zahrňte do svých výpočtů hledisko účinnosti motoru a uspoříte.  
[Interní materiály ABB.]

Další informace lze získat na adrese:  
**ABB s. r. o.**  
**Sokolovská 84–86**  
**186 00 Praha 8**  
**mobil: 731 552 253**  
**fax: 243 322 310**  
**e-mail: nadezda.pavelkova@cz.abb.com**  
**http://www.abb.cz**

