Potenciální možnosti úspor elektrické energie v průmyslu

Martin Škopek, Energy Consulting Service, s.r.o.
Martin Pittermann, KVE, FEL, ZČU v Plzni

Seminář k problematice novinek v právních energetických předpisech, Jihlava, 24. – 25. 11. 2011

STRUKTURA PREZENTACE

1. Úvod (podíl průmyslu na celkové spotřebě el. energie)

2. Struktura spotřeby el. energie v průmyslu

3. Typické příklady úspor dle jednotlivých typů zařízení:
   - použití komponent s vyšší účinností (úsporné motory…),
   - aplikace „bezztrátové“ regulace el. pohonů,
   - snížení ztrát při rozběhu a při brzdění,
   - snížení ztrát při chodu naprázdno a při nízkém zatížení,
   - snížení přídavných ztrát v zařízení (jalový výkon atd…).

4. Závěr a odkazy na další zdroje informací

1. ÚVOD

V posledních letech (zejm. po roce 1989) sice částečně klesá relativní podíl průmyslu na celkové spotřebě el. energie, neboť výrazně narůstá spotřeba v oblasti služeb a domácností), avšak přesto:

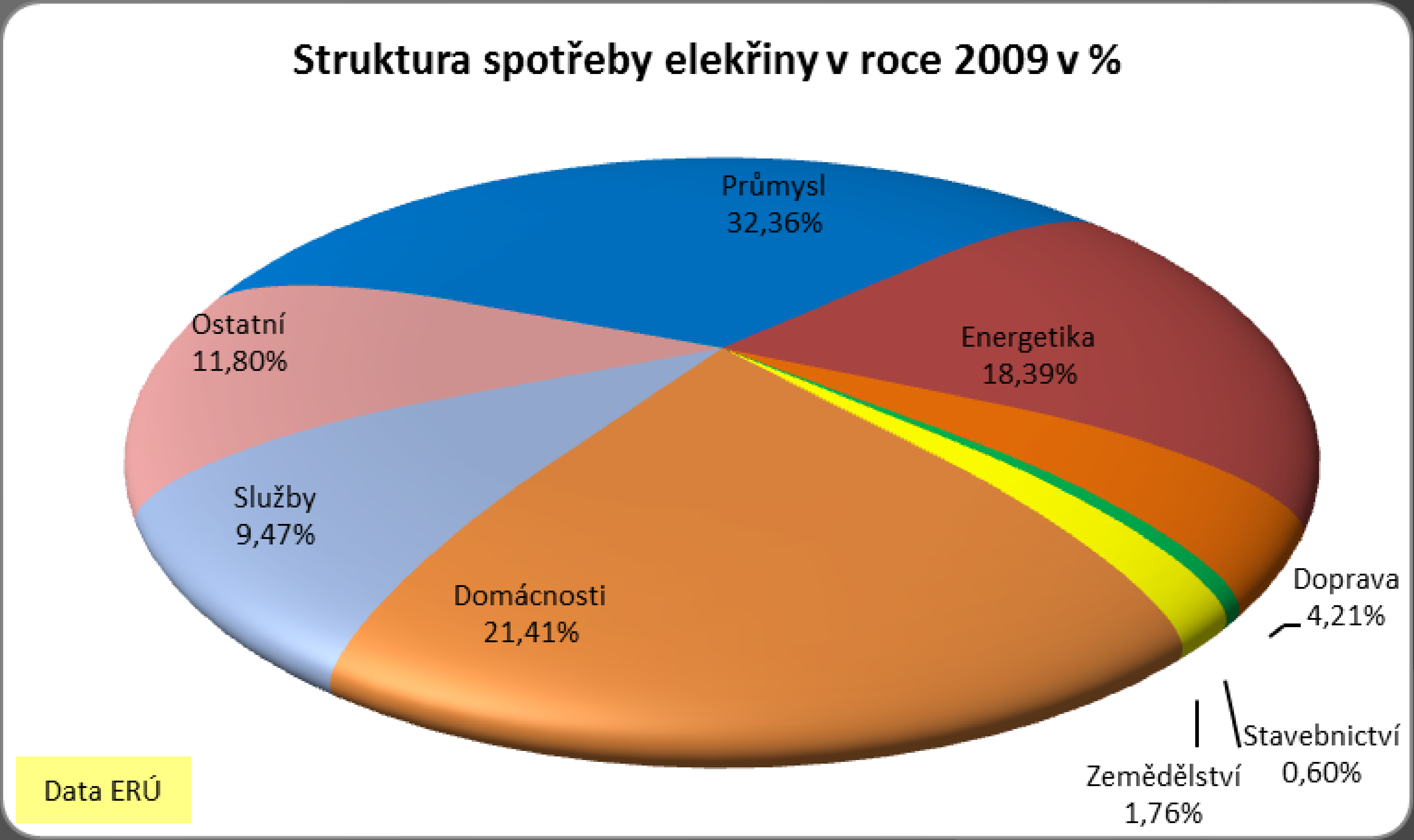
- spotřeba el. energie v průmyslu činí cca 1/3 celkové spotřeby el.energie,

- v ČR to tak představuje ročně cca 22 TWh / rok (tj. 79 $\cdot 10^{15}$ J/rok, 79 PJ/rok).

Pozn.: Za jistých podmínek sem lze zařadit i další spotřebitele podobného charakteru např. těžba a úprava uhlí (cca 2 TWh), pomocné pohony v elektrárnách, elektrickou trakci atd.

- **Data převzata z http://www.spcr.cz/statistika/elektrina.htm**
- **a z http://www.praha.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/publ/8101-10-**

1. PODÍL SPOTŘEBY EL.ENERGIE V PRŮMYSLU Z CELKOVÉ SPOTŘEBY ČR



- Graf převzat z http://www.spcr.cz/statistika/elektrina.htm

2. SPOTŘEBA EL. ENERGIE DLE DRUHŮ PRŮMYSLU

V ČR roční spotřebu el.energie 22 TWh tvoří zejména tato průmyslová odvětví:

Spotřeba [TWh]	Průmyslová odvětví
5,8	Výroba strojů, kovových konstr., elektrických zařízení atd. (z toho cca 2 TWh na výrobu motorových vozidel)
3,6	Výroba chemických látek a přípravků
3,5	Výroba kovů, slévárenství
2,7	Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků
1,7	Výroba papíru a výrobků z papíru
1,6	Výroba pryžových a plastových výrobků
1,2	Výroba potravinářských výrobků
2	Ostatní odvětví zde neuvedená (tj. zprac. dřeva, textil atd.)

- **Data převzata z http://www.praha.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/publ/8101-10-**

2. SPOTŘEBA EL. ENERGIE V PRŮMYSLU DLE DRUHŮ SPOTŘEBIČŮ

V celkové spotřebě el. energie v průmyslu cca 60 % představuje spotřeba na pohon mechanických zařízení (viz [3]).

Roční spotřeba el. pohonů jen v průmyslu v ČR tak přestavuje cca 13 TWh.

Pokud by se podařilo jejich průměrnou účinnost zvýšit jen o jediné 1 %, pak by to představovalo roční úsporu 130 GWh (130 milionů kWh).

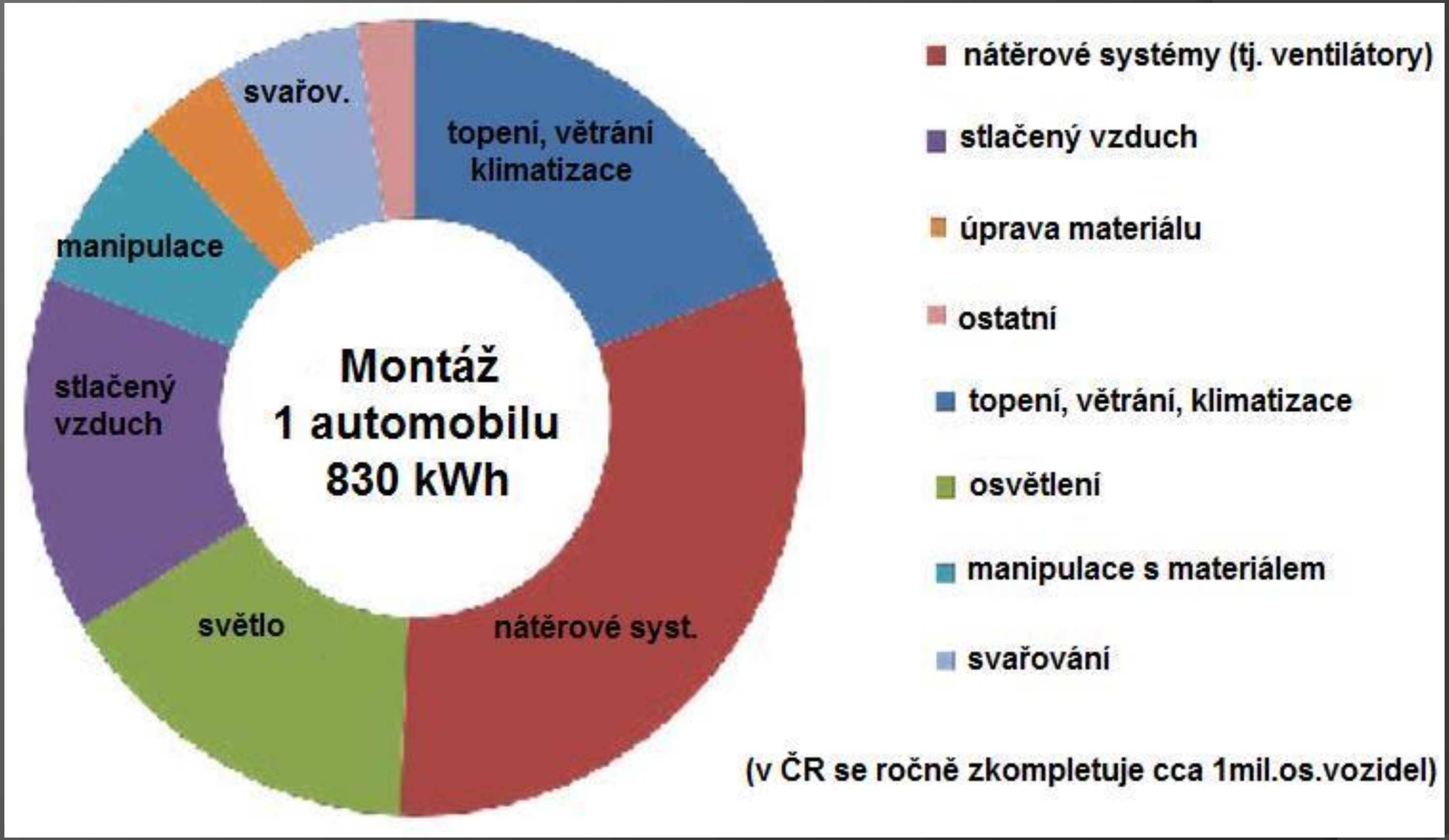
Další el. spotřebiče v průmyslu proto budou zmíněny jen okrajově – jde zejm. o zařízení pro el. teplo (el. pece, el. ohřev, sváření), elektrochemická výroba (elektrolýza, galvanovny) a dále spotřebiče stejného charakteru jako v neprůmyslových odvětvích (osvětlení, řízení, kancelářská technika, drobné spotřebiče atd.).

- **Data převzata z http://www.propohony.cz/**
- **menice-a-regulatory/176-regulovane-pohony-s-menici-frekvence-1-dil**

2. PŘÍKLADY EL. SPOTŘEBIČŮ (ZEJM. POHONŮ)

Průmyslová odvětví	Elektromotory pohonánějící	Ostatní el. spotřebiče
Výroba kovových konstrukcí, strojů atd.	tvářecí stroje (obráběcí, kovací atd.), doprava materiálu, součástí, výrobků	el. ohřev (svařování atd.)
Chemický průmysl	čerpadla, kompresory	elektrolýza
Výroba kovů, slévárenství	dmychadla, mlýny	el. ohřev (zejm. indukční)
Sklo, keramika, stavební hmoty	mlýny, dmychadla, pohony rotačních pecí	el. ohřev, magnet. separace
Výroba papíru a výrobků z papíru	papírenské stroje, mlýny, čerpadla	
Výroba plastovových výrobků atd.	vytlačovací stroje (lisy a extrudéry)	el. ohřev
Výroba potravinářských výrobků	čerpadla, chladící agregáty	el. ohřev
Textilní průmysl	textilní stroje	
Dřevozpracující průmysl	obráběcí stroje, lisy	el. ohřev

2. PŘÍKLAD SPOTŘEBY – MONTÁŽ AUTOMOBILU

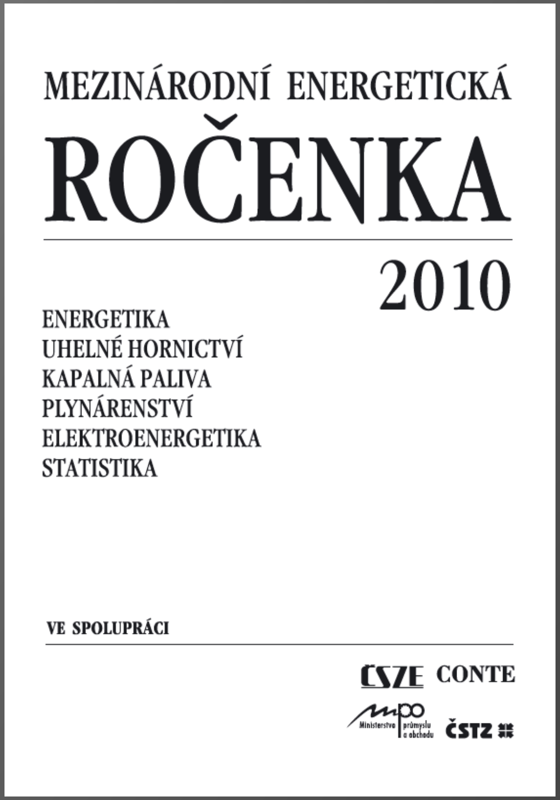


Pozn. 1. Většinou energie je zde elektrická energie (a to zejm. pro el. pohony)

Pozn. 2. Není zde zahrnuta spotřeba energie na výrobu subdodávek (tj. např. výroba a tvarování plechů, obrábění kovů a lisování plastů – tj. opět z velké části se jedná o el. pohony).

- **Obrázek a data převzata z** http://odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/EBV/ARC_Gueldner.pdf

2. ZDROJE INFORMACÍ (STATISTICKÝCH DAT)



Wikipedia: „Já vím všechno!“
Google: „Najdu všechno!“
Facebook: „Já znám všechny.“
Internet: „Beze mě, jste v...“

***Elektřina:* „Ehmm, tak se uklidníme, jo?!“...**

3. MOŽNOSTI REALIZACE ÚSPOR EL.ENERGIE

A) Použití komponent s vyšší účinností (el. motory, polovodičové měniče, úprava mechanických částí zařízení atd.)

B) Aplikace „bezztrátové“ regulace el. pohonů (zejména díky nasazení polovodičových měničů)

C) Snížení ztrát při rozběhu a při brzdění el. pohonů (možnost rekuperace brzděné energie zpět do sítě)

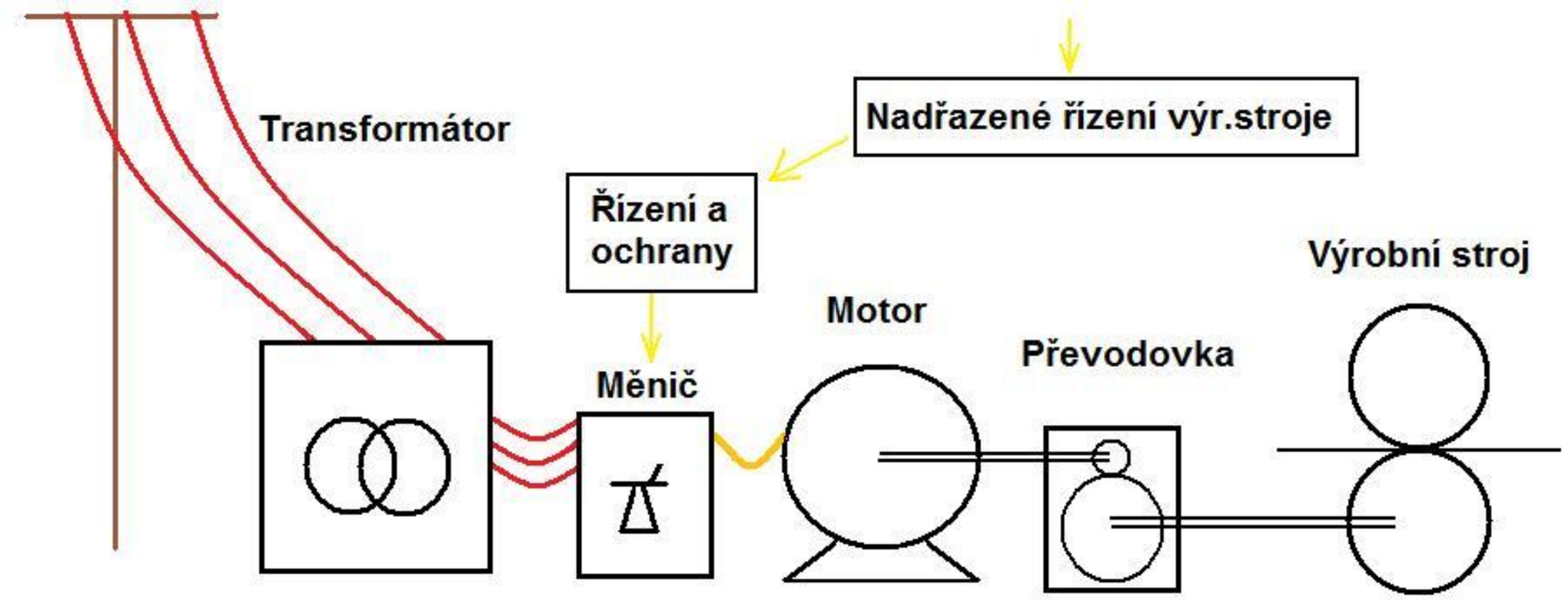
D) Snížení ztrát při chodu naprázdno a při nízkém zatížení el. pohonů (možnost realizace úsporného chodu)

E) Snížení přídavných ztrát v jednotlivých zařízení (tj. snížení jalového a deformačního výkonu a tím snížení přídavných ztrát v el. spotřebiči, v napájecích transformátorech a v přívodních vodičích),

F) Použitím kvalitnějších řídicích algoritmů

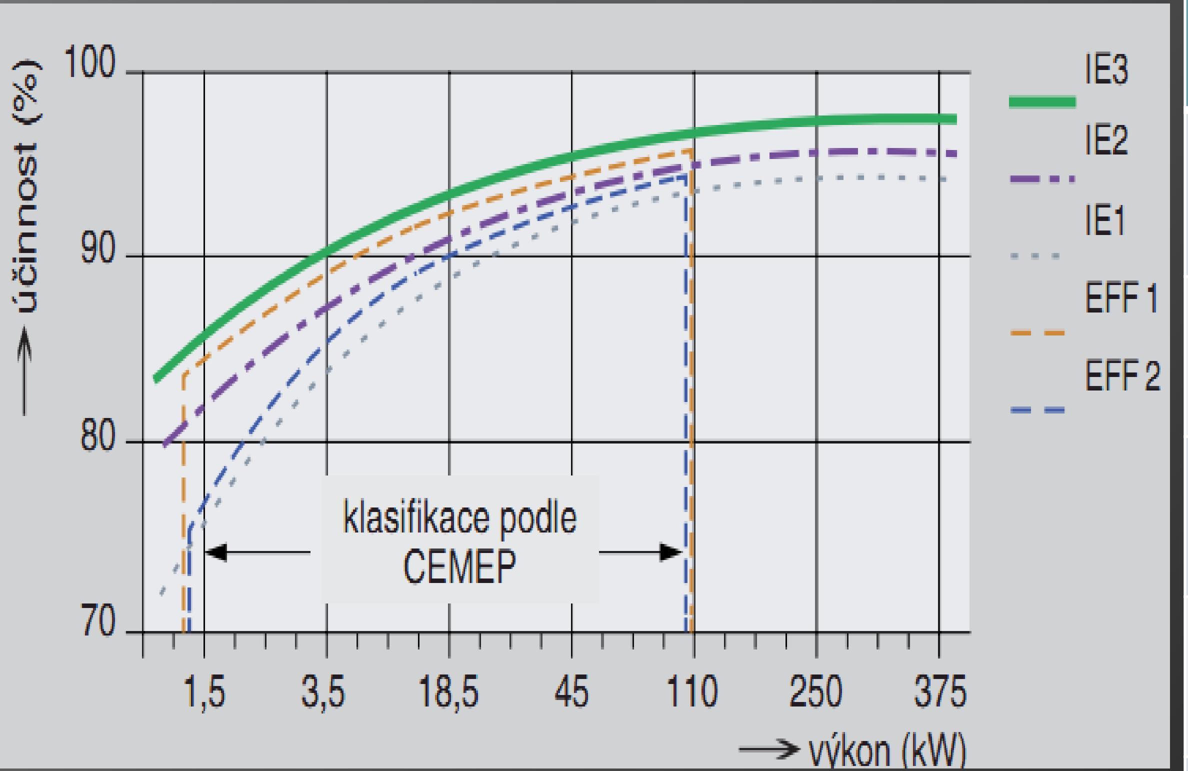
3A) KOMPONENTY S VYŠŠÍ ÚČINNOSTÍ

Klíčovým komponentem el. pohonu je el. motor (dnes obvykle asynchronní). Z hlediska úspor energie je dále důležitý měnič (je-li použit), řídicí systém, mechanické komponenty a příp. i napájecí transformátor.



3A) EL. MOTOR S VYŠŠÍ ÚČINNOSTÍ

Rozdělení asynchronních motorů dle účinnosti (od 2009 norma ČSN EN 60034-30)



Stará norma 1998-2008	Norma od 2009	
	IE4 Super-Premium	Nejlepší účinnost
	IE3 Premium	
EFF1 Vysoká účinnost	IE2 High	
EFF2 Zvýšená účinnost	IE1 Standard	Nejhorší účinnost
EFF3 Běžná účinnost		

- **Obrázek převzat z** http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=43677

3A) EL.MOTOR S VYŠŠÍ ÚČINNOSTÍ

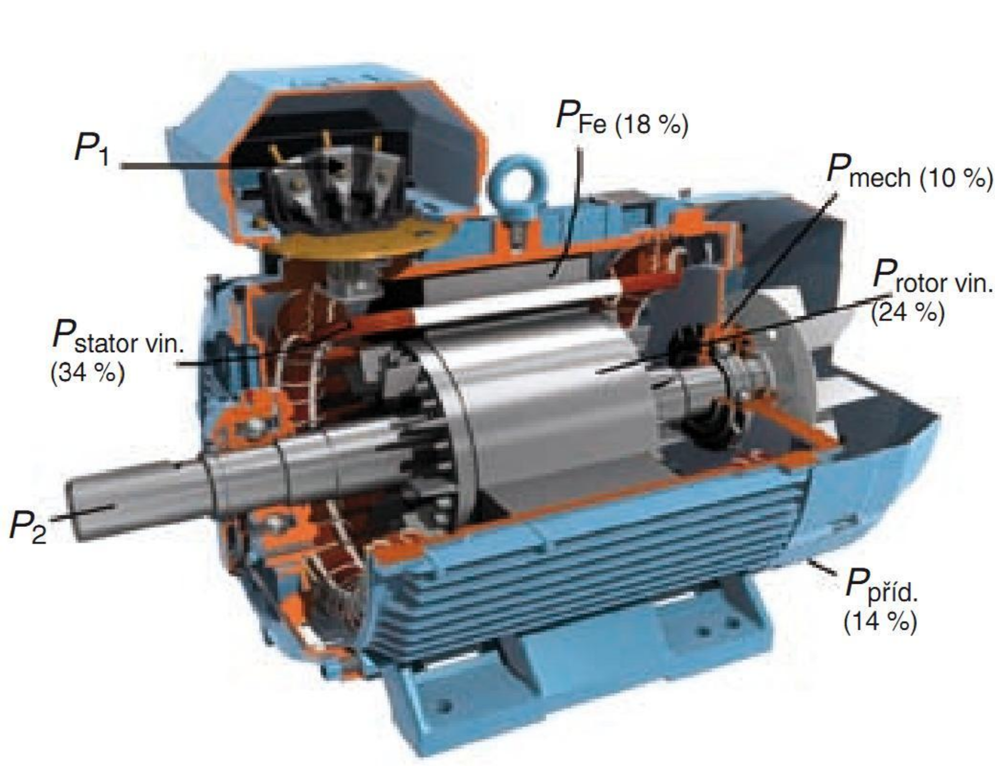
Dle [5] se při použití motoru s vyšší účinností vyšší počáteční investiční náklady (na jeho pořízení oproti pořízení levnějšího motoru s nižší účinností) za dobu jeho životnosti splatí cca stokrát !!!

Názorný zjednodušený příklad :
Úspora energie za rok provozu (při trvalém výkonu 10 kW) při použití motoru s účinností vyšší jen o 1 % (tj. 98 % místo 97 %):
365,25 (den/rok) * 24 (hod/den) * 10 kW * (1/0,97 – 1/0,98) = 922 kWh/rok

Za 10 let provozu tak (i při ceně „jen“ 3 Kč/kWh) činí úspora cca 27 tis. Kč

3A) EL. MOTOR S VYŠŠÍ ÚČINNOSTÍ

Moderní as. motory mají vyšší účinnost díky :
- použití kvalitnějších materiálů pro magnetický obvod stroje (nižší ztráty v železe),
-zvýšení průřezů vodičů,
-rotorová klec nakrátko z mědi,
-kvalitnější izolace
-nižší mechanické ztráty od ložisek a zejm. od ventilátoru
-tvrdší momentovou charakteristiku (s ohledem na možnost práce při napájení z měniče kmitočtu)



Obrázek ukazuje procentuální rozdělení ztrát v asynchronním motoru

- **Obrázek a data převzato z**
- http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37850

3A) OMEZENÍ ZTRÁT V MECHANICKÝCH KOMPONENTECH

Mnohdy lze dosáhnout úspor el. energie i v „neelektrických částech" pohonu. Konkrétně lze snížit ztráty pomocí:

- dokonalejšího výrobního zařízení s nižšími ztrátami (např. náhrada staršího čerpadla novějším čerpadlem s vyšší účinností – např. dle [9] až o 12 %)

- hospodárnější využití vyrobené energie (zejm. u tlakového vzduchu atd.)
- snížení ztrát v mechanických přenosech a v převodech (např. dokonalejší převodovka, kvalitnější mazání mechanismů případně použití pomaluběžného bezpřevodového pohonu)

Pozn.: Pomaluběžné bezpřevodové pohony vedou na

- vyšší hmotnost a cenu motoru (z důvodu nutného vyššího momentu motoru)
- použití mnohapólového synchronního motoru a tedy na nutnost použití frekvenčního měniče.

3A) OMEZENÍ ZTRÁT V MECHANICKÝCH KOMPONENTECH

Příklad – porovnání účinnosti několika variant realizace pohonu výtahu (rozdíly jsou v mechanickém uspořádání a zejména v použití rychloběžného motoru se šnekovou převodovkou resp. pomalubžného pohonu bez převodovky)

lanování	1 : 1	2 : 1	1 : 1	2 : 1	1 : 1	2 : 1	1 : 1	2 : 1
typ pohonu	převodový	převodový	převodový	převodový	bezpřevodový	bezpřevodový	bezpřevodový	bezpřevodový
převodový poměr	39:1	37:2	39:1	41:2	1:1	1:1	1:1	1:1
kr. moment [Nm]	1050	520	2200	1000	1120	500	380	180
účinnost převodovky	72 %	81%	74 %	80 %	100 %	100 %	100 %	100 %
účinnost motoru	85 %	85%	85 %	85 %	73 %	84 %	75 %	79 %
účinnost šachty	85 %	85%	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %
Kladky	1	3	1	3	0	3	0	3
účinnost kladek	98 %	94,1 %	98 %	94,1 %	100%	94,1%	100 %	94,1 %
Celková účinnost	51,0 %	**55,1 %**	52,4 %	**54,4 %**	62,1 %	**67,2 %**	**63,8 %**	63,2 %

- **Tabulka převzata z** http://vytahy.tzb-info.cz/
- provoz-a-servis/6667-energeticka-ucinnost-vytahovych-komponentu

3B) BEZZTRÁTOVÁ REGULACE POHONŮ

S ohledem na možné úspory energie lze rozdělit pohony takto :

I. Regulační pohony s vysokými nároky na ně – např.: papírenské stroje, válcovací stolice, navíječky, odvíječky plechu, drátu atd.

II. Pohony, kde se vyžaduje regulace alespoň v minimálním rozsahu (nebo se jen vyžaduje plynulý rozběh pohonu) – např. velké mlýny, dopravníky

III. Pohony, zařízení, kde se regulace realizuje „neelektrickými" prostředky – např. čerpadla, dmychadla, kompresory běžící konstantní rychlostí

IV. Pohony, kde v podstatě dostačuje jen řízení logického typu (tj. pohon stojí/běží resp. vpřed/vzad) – např. pohony zdvihacích zařízení

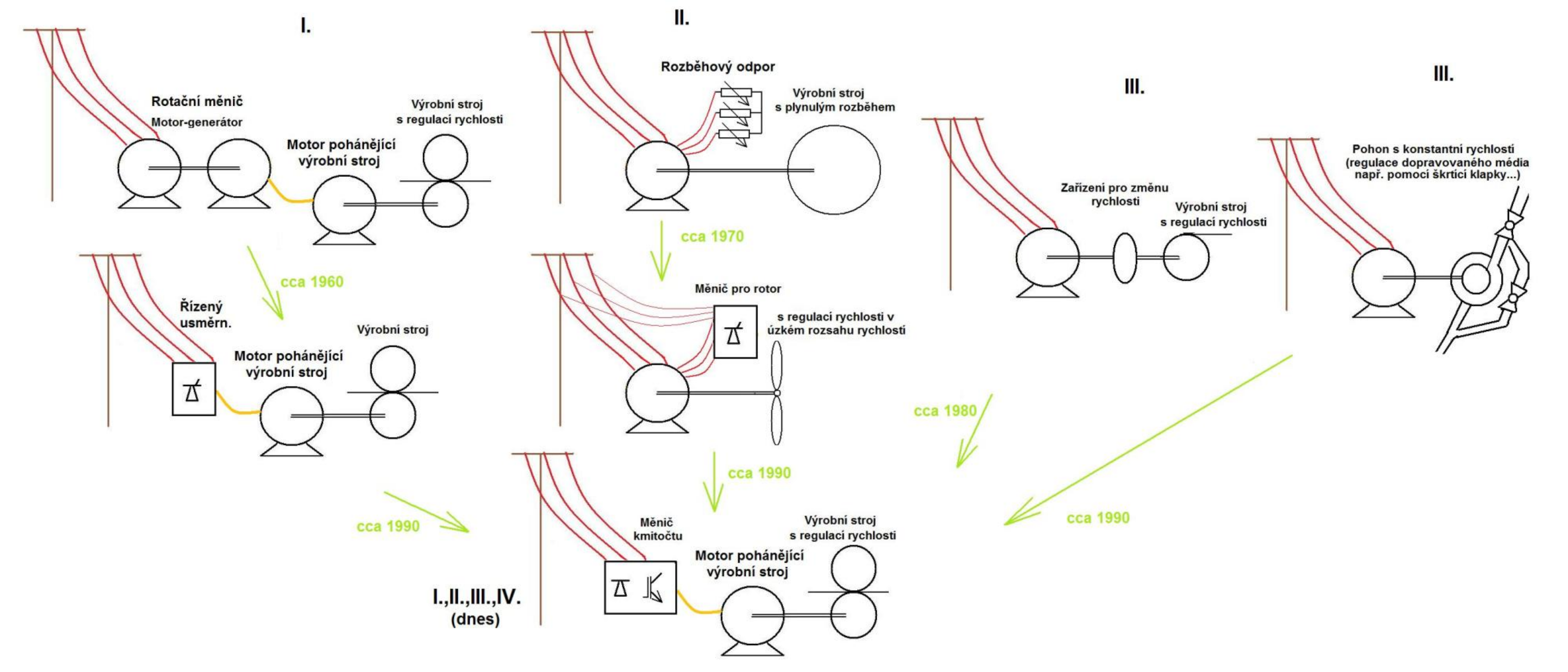
V. Pohony dlouhodobě běžící konstantní rychlostí (např. malé pomocné pohony). Naopak pohony používané jen výjimečně (záložní zařízení atd.).

S rozvojem výkonové a řídící techniky se jeví jako ekonomicky výhodné nasazovat regulační pohony nejen do kategorií dle I. resp. dle II. (bylo nutno je takto realizovat již dávno), ale i do kategorií dle III. a nově i dle kateg. IV.

3B) POZVOLNÝ PŘECHOD NA BEZZTRÁTOVOU REGULACI

Varianty pohonů s regulací rychlosti (I. a II.) a

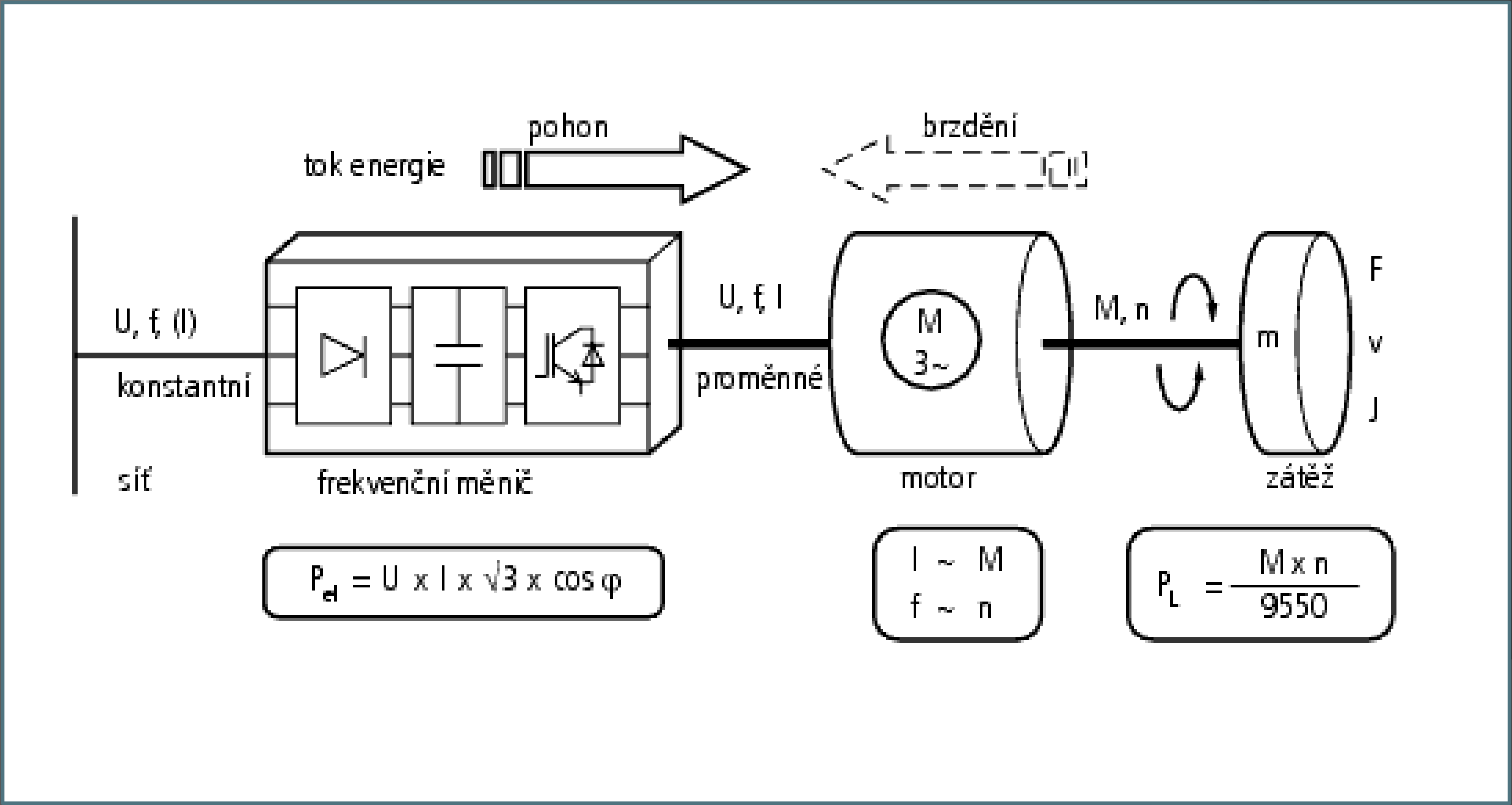
možnosti regulace „neelektrickými“prostředky (III.)



Pozn.: Naznačené roky přechodů na pohony modernější koncepce mají jen velmi přibližný význam („morálně zastaralé koncepce“ běžně zůstávájí v provozu, rekonstruují se, resp. se dokonce i staví jako „nové“)..

3B) POZVOLNÝ PŘECHOD NA BEZZTRÁTOVOU REGULACI

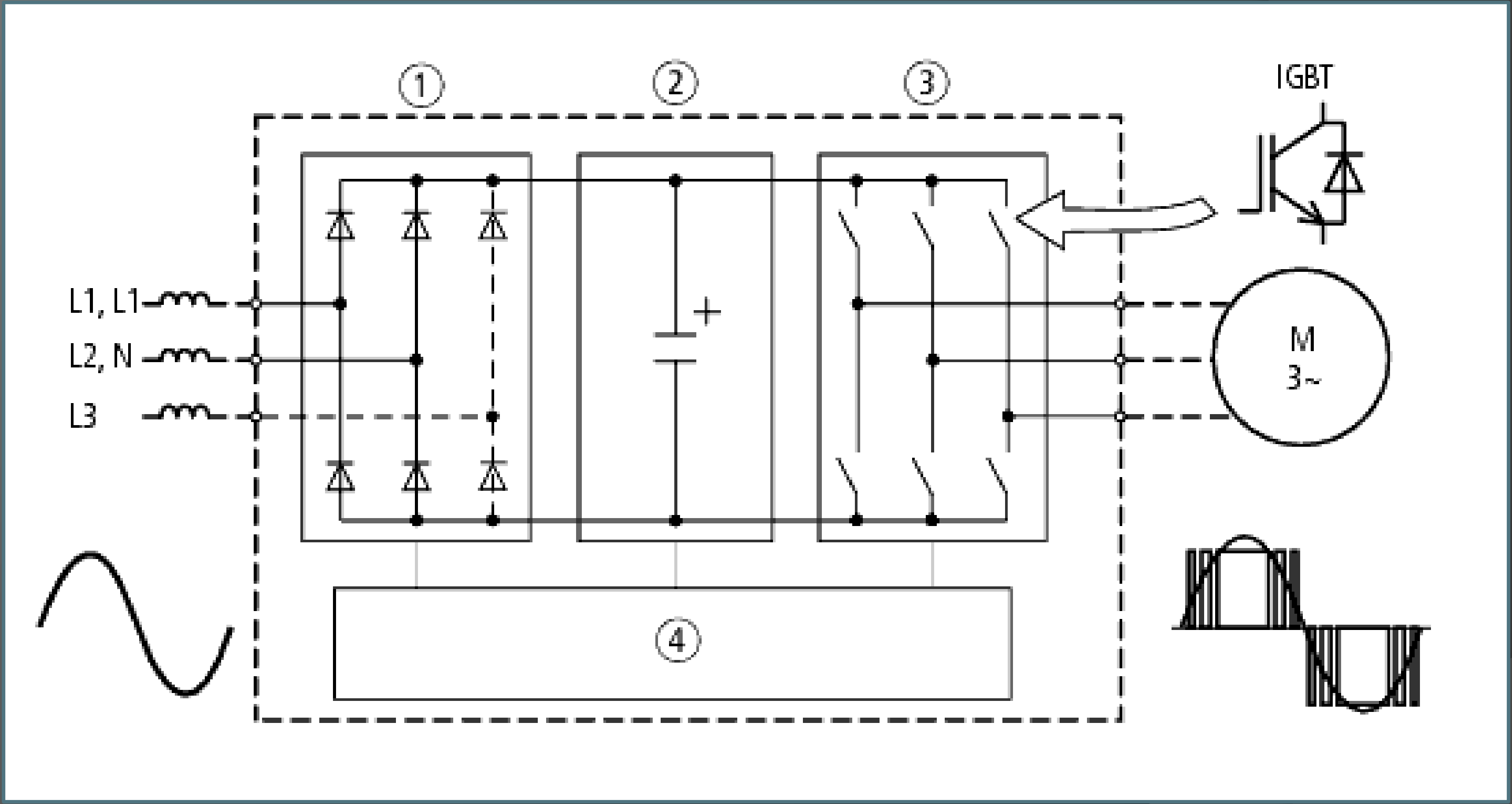
Pulzní měnič



- **Obrázek převzat z http://www.moeller.cz/priruckazapojeni/drives079.html**

3B) POZVOLNÝ PŘECHOD NA BEZZTRÁTOVOU REGULACI

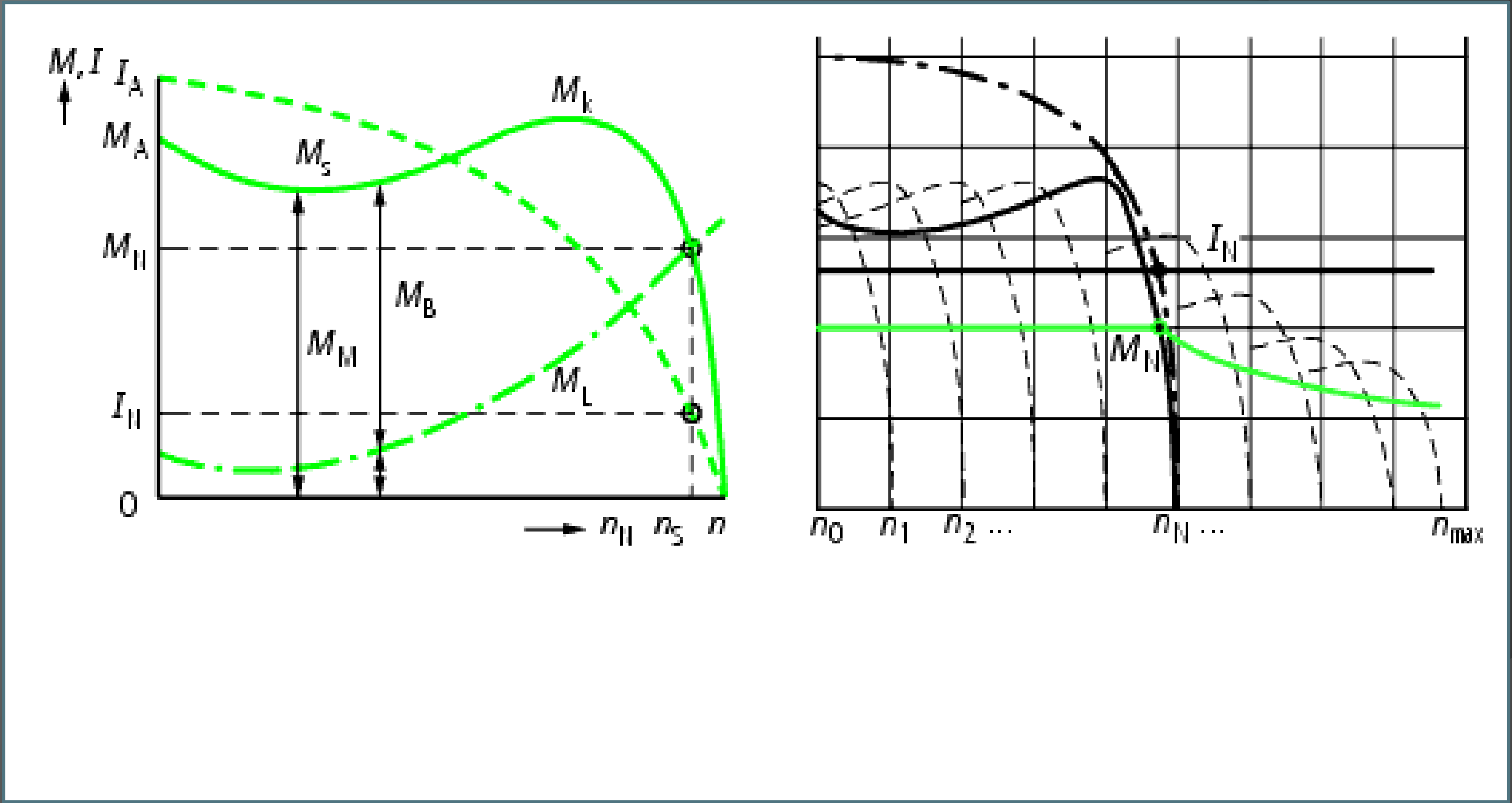
Pulzní měnič



- **Obrázek převzat z http://www.moeller.cz/priruckazapojeni/drives079.html**

3B) POZVOLNÝ PŘECHOD NA BEZZTRÁTOVOU REGULACI

Pulzní měnič



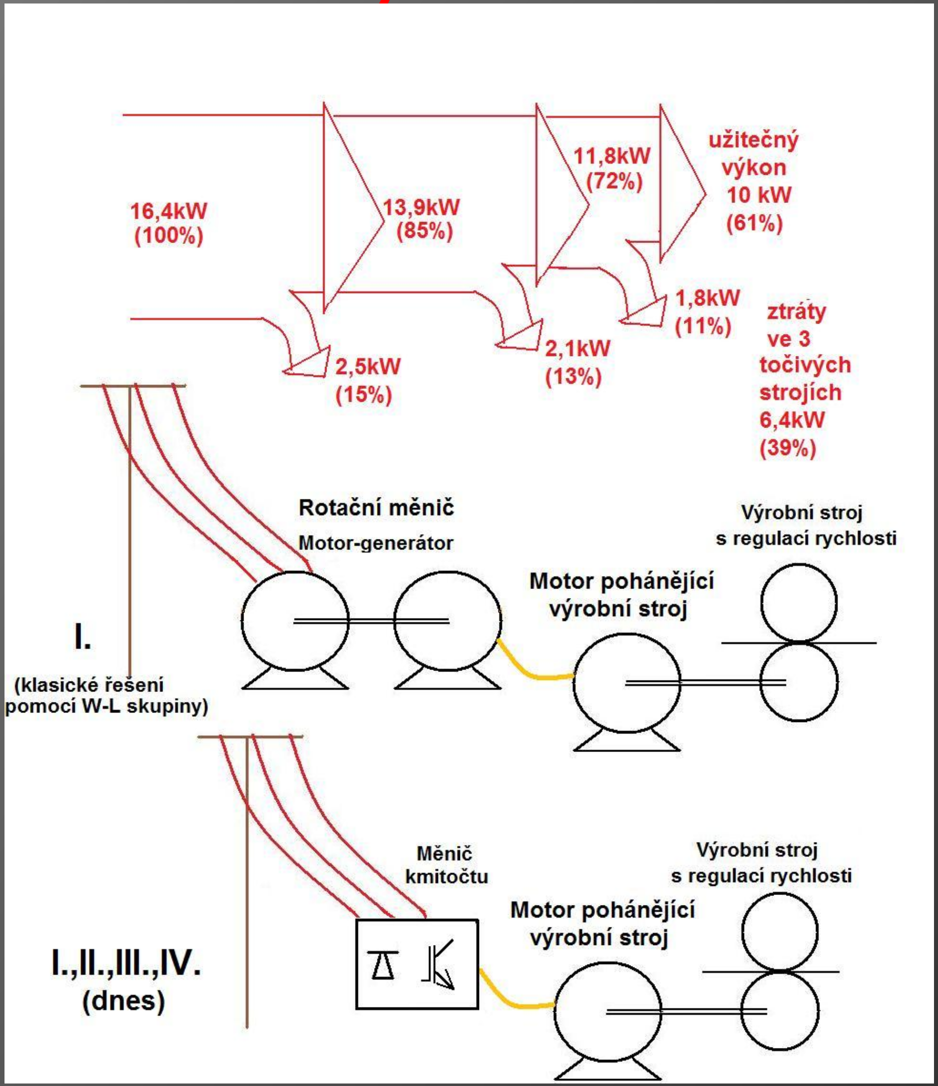
- Obrázek převzat z http://www.moeller.cz/priruckazapojeni/drives079.html

3B) POZVOLNÝ PŘECHOD NA BEZZTRÁTOVOU REGULACI

Pulzní měnič

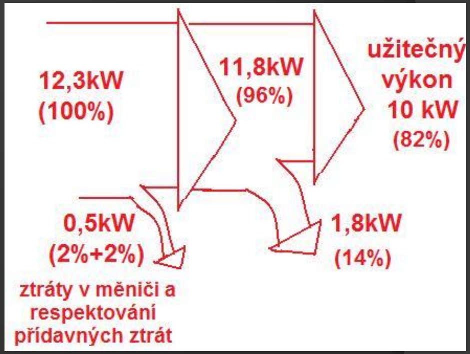
- **Obrázek převzat z** http://www.eatonelektrotechnika.cz/pdf/Frekvencni%20menice.pdf

3B) POHONY S REGULACÍ RYCHLOSTI



Porovnání účinnosti pohonu:

I. napájeného z Ward-Leonardovy skupiny (pro zjednodušení uvažována účinnost každého stroje 85 %, celková účinnost 61 %)



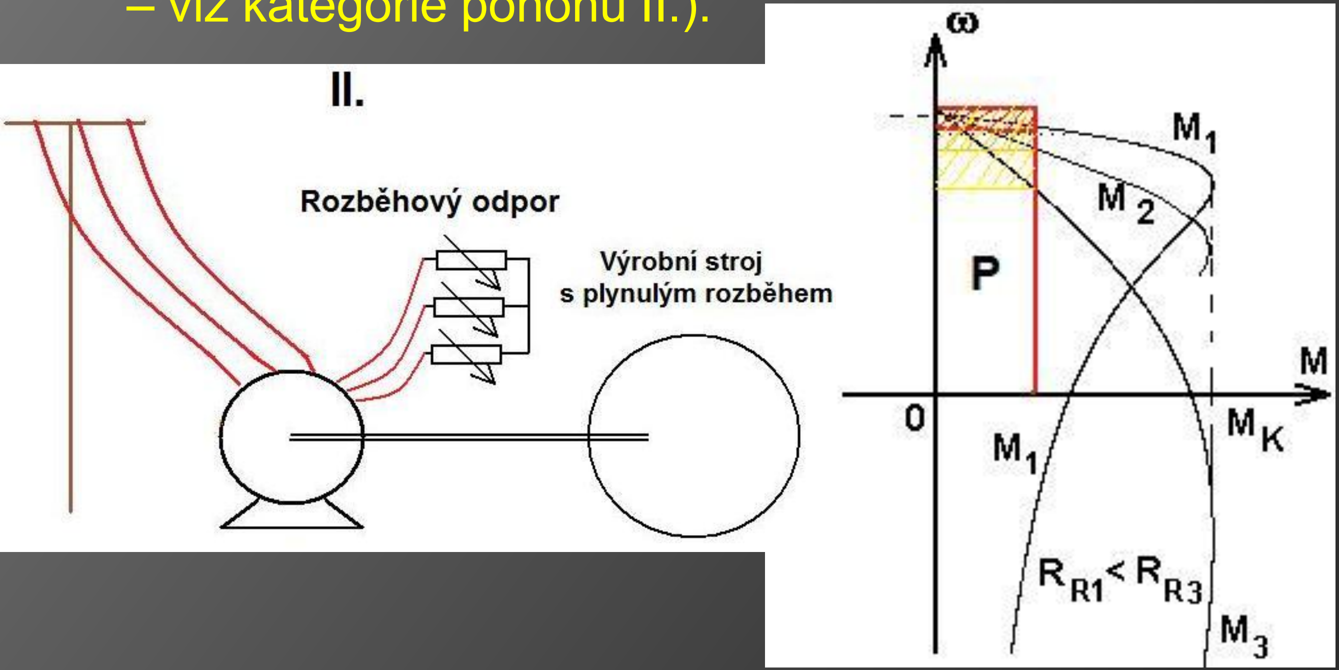
Účinnost pohonu napájeného z měniče za srovnatelných podmínek 82 %, nižší spotřeba o cca 4 kW

Pozn.: Rotační měniče se ve starších elektrotepelných zařízeních využívají i jako zdroj vf – zde je jejich náhrada pomocí polovodičových měničů ještě efektnější.

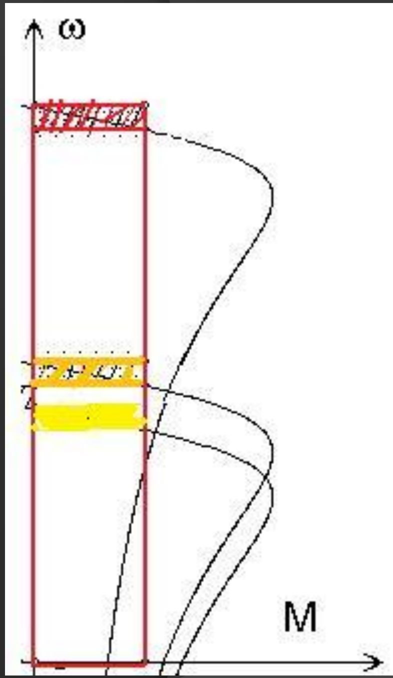
3B) POHONY SE ZTRÁTOVOU REGULACÍ RYCHLOSTI

Značné ztráty při nízkých rychlostech pohonu (proto obvykle využití jen pro rozběh pohonu

nebo pro regulaci jen v úzkém pásmu rychlostí – viz kategorie pohonů II.).



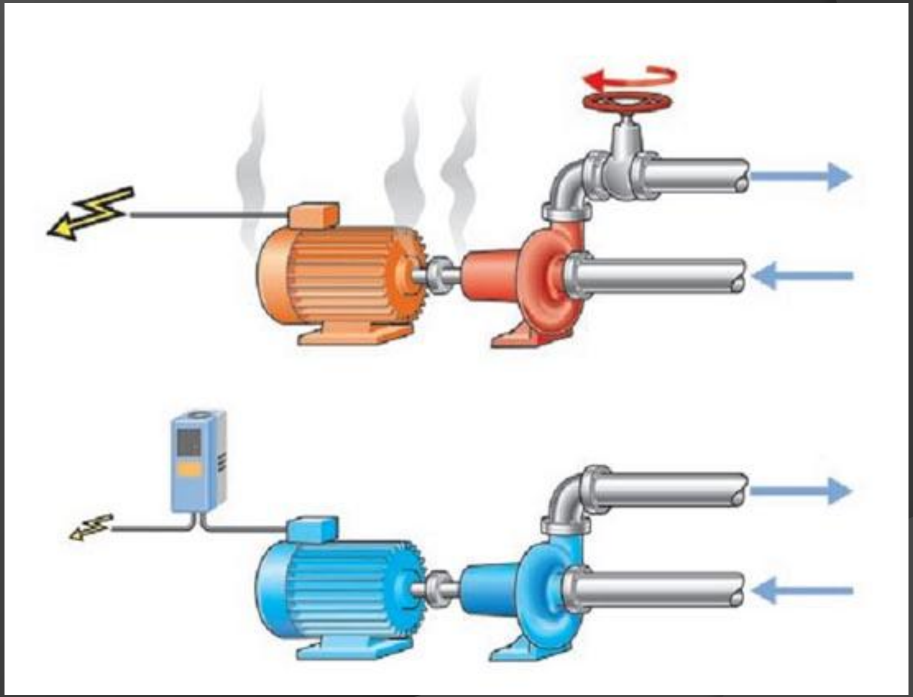
Zatímco pohon s měničem kmitočtu umožní provoz stále s nízkými ztrátami



3B) POHONY S KONSTANTNÍ RYCHLOSTÍ ale s regulací pomocí „neelektrických“ prostředků

VE SROVNÁNÍ S POHONEM s měničem kmitočtu

III. typické případy – čerpadlo (resp. dmychadlo) s regulací průtoku např. pomocí škrtící klapky (viz obr.).



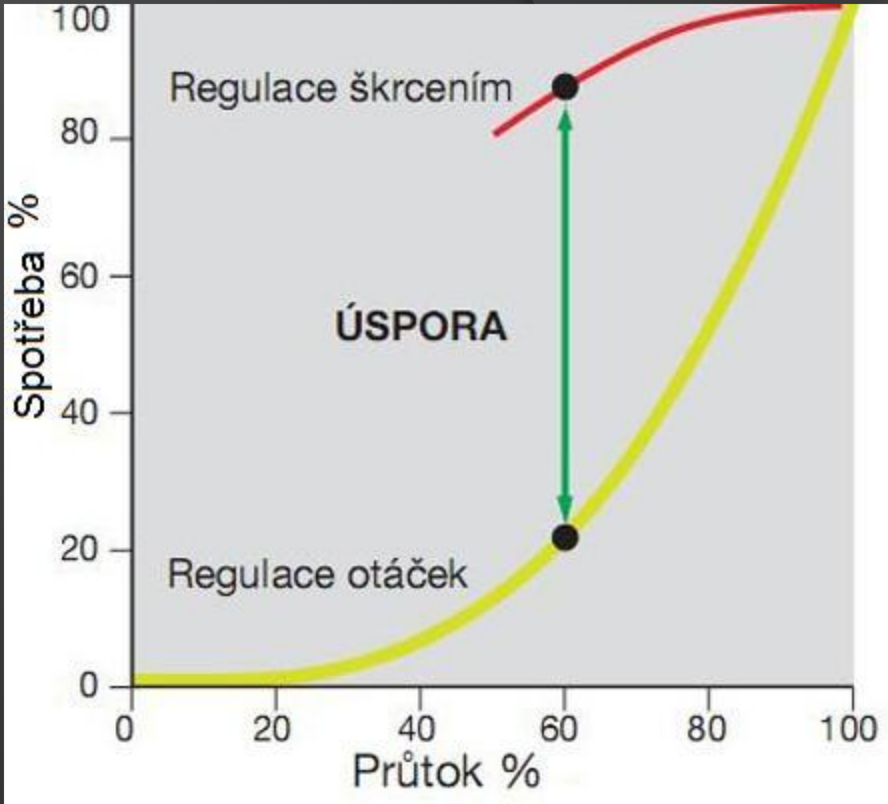
- **Obrázek převzat z http://www.propohony.cz/**
- **stridave-motory/169-blizka-perspektiva-asynchronnich-motor-s-vysokou-ucinnosti**

3B) POHONY S KONSTANTNÍ RYCHLOSTÍ ale s regulací pomocí „neelektrických“ prostředků

VE SROVNÁNÍ S POHONEM s měničem kmitočtu

III. typické případy – čerpadlo (resp. dmychadlo) s regulací průtoku např. pomocí škrtící klapky (viz obr.).

Opět i zde pokud se použije regulace otáček (as. motor napájen z měniče kmitočtu) značná úspora energie – zejména při malém průtoku média (dle [9] v jistých případech úspory až 50 resp. dokonce až 80 %).



- **Obrázek převzat z http://www.propohony.cz/**
- **stridave-motory/169-blizka-perspektiva-asynchronnich-motor-s-vysokou-ucinnosti**

3C) SNIŽOVÁNÍ ZTRÁT PŘI ROZBĚHU POHONU

Dokonce i u pohonů, kde se nevyžaduje regulace rychlosti (IV. tj. např. zdvihací zařízení, odstředivky) může nasazení měniče kmitočtu přinést značné úspory díky snížení rozběhových ztrát pohonu.

Příklad: Pohon s 2-pólovým asynchronním motorem a celkovým momentem setrvačnosti 0,2 kg m^2, rozběh 10× za hodinu

Při použití měniče kmitočtu úspora energie na jednom rozběhu :

$\frac{1}{2} * J * \omega^2 = \frac{1}{2} * 0{,}2\ kg\ m^2 * (314\ rad/s)^2 =$ <u>98 kJ</u> = 0,027 kWh

Roční úspora energie :

365,25 * 24 * 10 * 0,027 kWh= <u>2,3 tis kWh</u>

,

3C) SNIŽOVÁNÍ ZTRÁT PŘI BRZDĚNÍ POHONU

Při brzdění pohonu protiproudem vznikají až 3-násobně vyšší ztráty ve srovnání se ztrátami na rozběh (tuto energii odebere pohon ze sítě).

Jiné varianty brzdění (tj. např. brzdění stejnosměrným proudem, využitím mech. brzdy apod.), lze tyto ztráty výrazně snížit.

Při použití vhodného měniče lze dokonce zajistit rekuperaci kinetické energie, a to buďto zpět do napájecí sítě nebo do jiného měniče (při realizaci propojení stejnosměrných meziobvodů několika měničů).

3D) ÚSPORY POHONŮ PŘI CHODU NAPRÁZDNO A PŘI CHODU S NIŽŠÍM VÝKONEM

Dokonce i při chodu naprázdno vznikají v pohonu výrazné ztráty, a to :
- vlivem mechanických ztrát (ventilátor a další ztráty vlivem otáčení hřídele),
- vlivem ztrát v magnetickém obvodu motoru (tzv. ztráty v železe),
- vlivem ztrát od proudu stále tekoucího do motoru (jalový výkon).

Snížení těchto ztrát lze teoreticky realizovat
- vypnutím nepoužívaného motoru,
- snížení rychlosti motoru (je-li to možné),
- snížení magnetického pole uvnitř v motoru (tzv. odbuzení motoru – pokud má měnič kmitočtu implementovánu funkci tzv. úsporného režimu motoru).

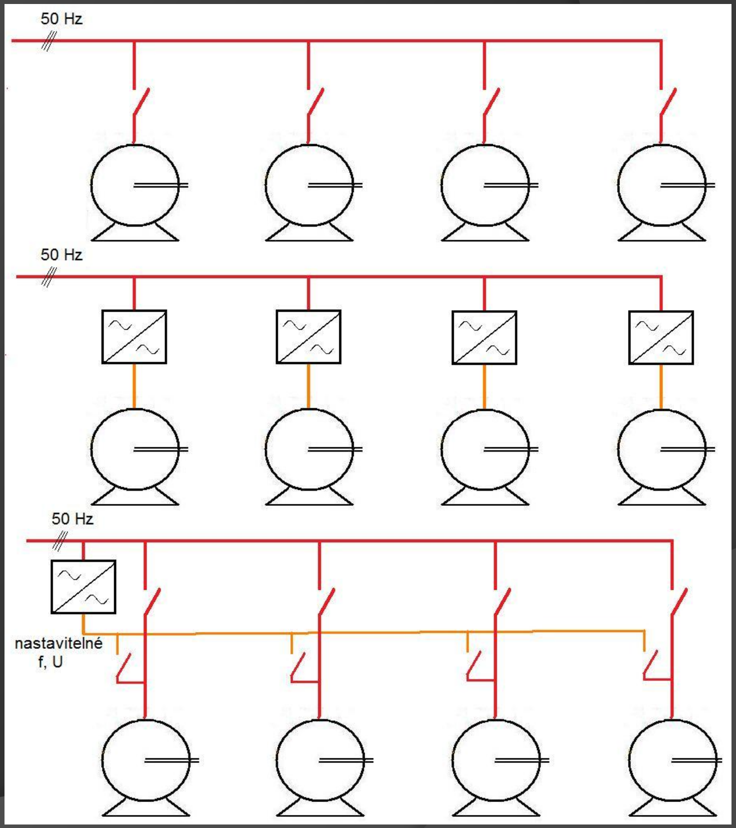
3D) ÚSPORY POHONŮ PŘI CHODU NAPRÁZDNO A PŘI CHODU S NIŽŠÍM VÝKONEM

U čerpadel pracujících do spol. výstupu (atd.) lze pomocí vhodného řídicího algoritmu podle požadavku nastavit optimální stav pohonů.

Zapojení bez měniče – každý motor je řízen jen zapnuto / vypnuto.

Zapojení s měničem individuálně pro každý motor (nejdražší varianta).

Úsporná varianta (pro největší výkony) – ke společnému měniči připojen vždy jen jeden motor (a ten je buďto plynule řízen nebo rozbíhán a po jeho připojení k síti 50 Hz je měnič využit s jiným motorem).

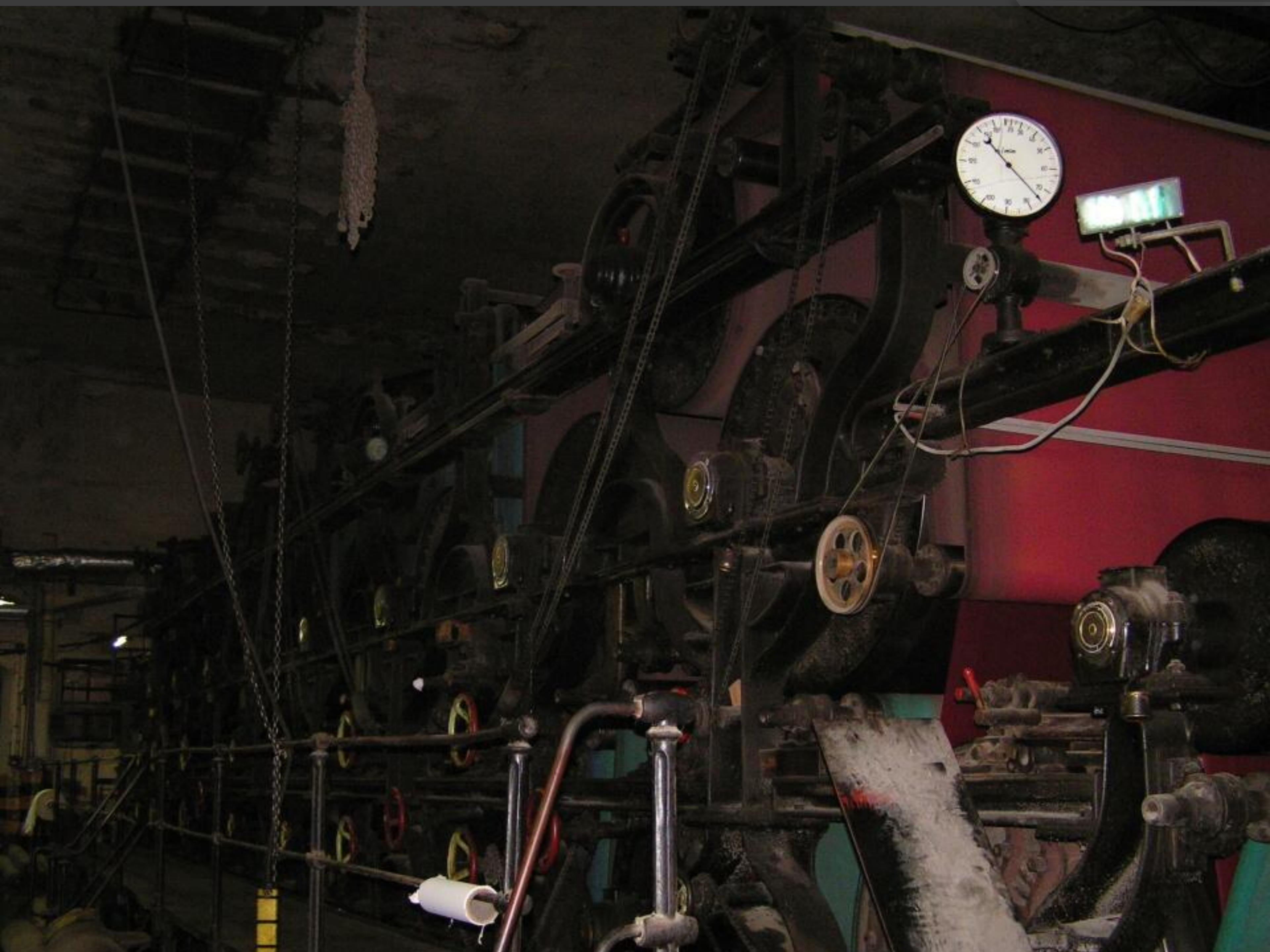


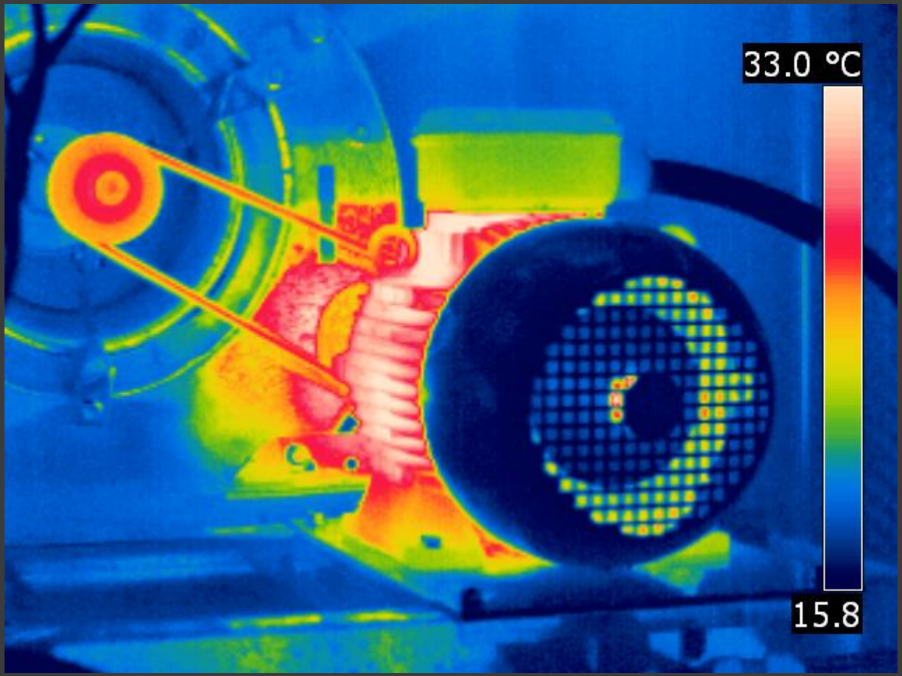
3E) ELIMINACE PŘÍDAVNÝCH ZTRÁT V OKOLÍ

Pohony (ale i další zařízení) odebírají kromě užitečného (tzv. činného) výkonu i další složky proudu, které vytvářejí přídavné ztráty v napájecí soustavě (transformátory, generátory atd.) a proto dodavatel tyto odběry penalizuje.

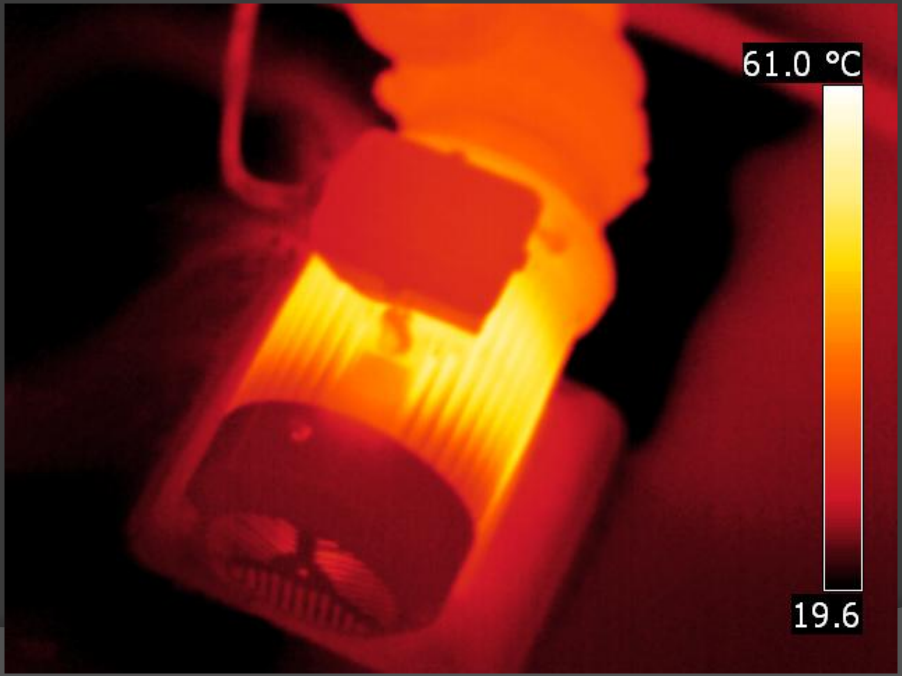
Starší zařízení (as. motory připojené přímo na síť, indukčnosti atd.) generují tzv. jalový výkon, který by se měl kompenzovat (kompenzační kondenzátorové baterie atd.).

Novější zařízení (měniče, elektronické spotřebiče, zářivky, atd.) navíc generují nesinusové průběhy proudů (tzv. deformační výkon) – typicky 5-tá a 7-tá (příp. i třetí) harmonická. Tomuto je rovněž nutno zabránit správným zapojením měniče (příp. je nutno je filtrovat pomocí vhodných filtrů)

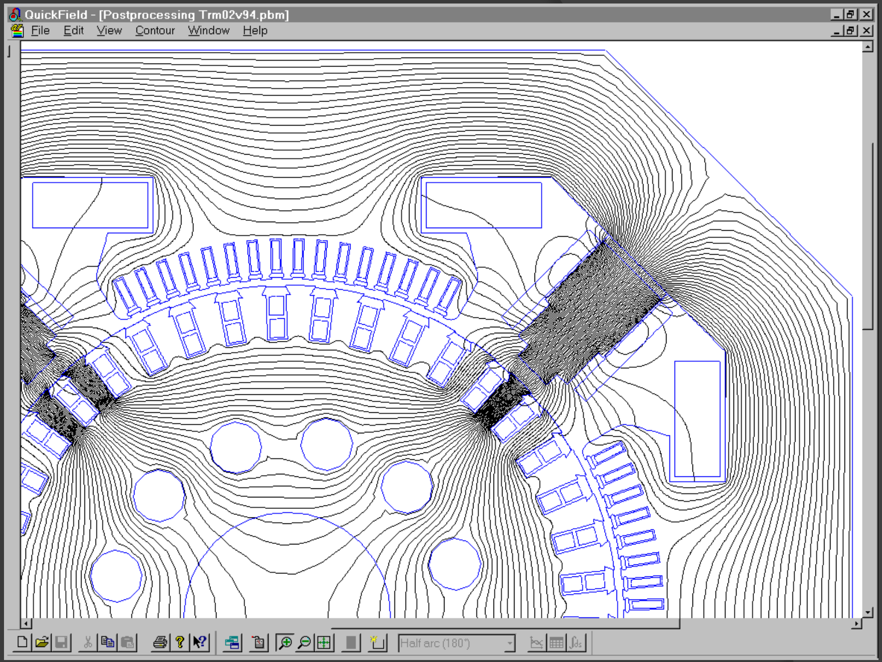


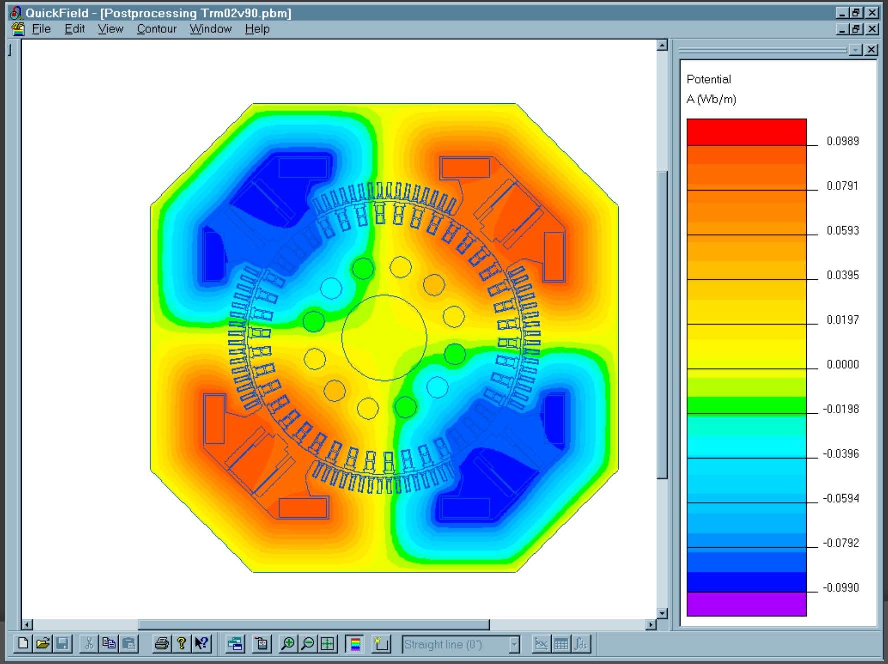

33.0 °C
15.8

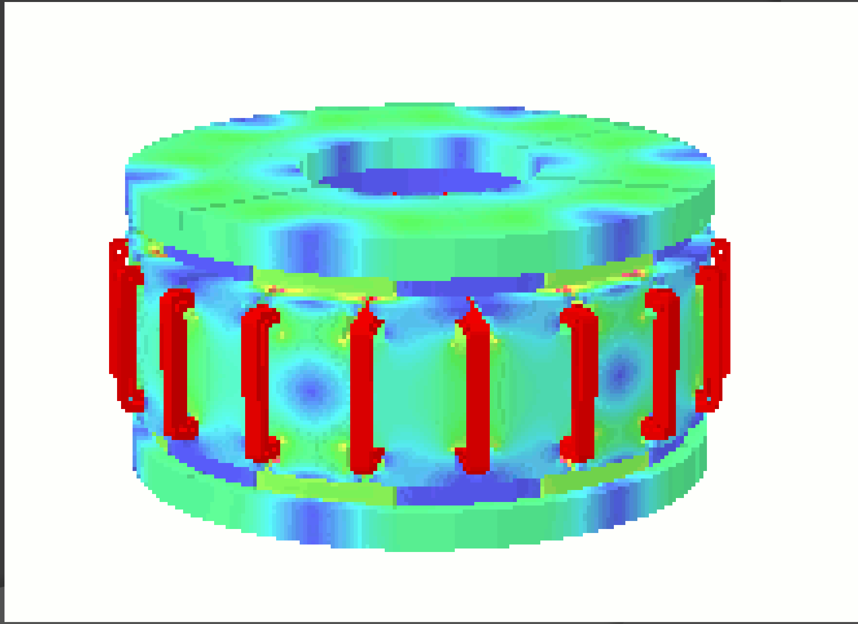
54.4 °C
23.5


61.0 °C
19.6

ELEKTROTECHNICKÉ
TABULKY
pro školu i praxi
GREGOR HÄBERLE A KOLEKTIV


QuickField - [Postprocessing Trm02v94.pbm]
File Edit View Contour Window Help
Half arc (180°)


QuickField - [Postprocessing Trm02v90.pbm]
File Edit View Contour Window Help
Potential
A (Wb/m)
0.0989
0.0791
0.0593
0.0395
0.0197
0.0000
-0.0198
-0.0396
-0.0594
-0.0792
-0.0990
Straight line (0°)



4) ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

- Vyhrazená elektrická technická zařízení dle Vyhl. 73/2010 Sb.
- Revize, práce na zařízení, obsluha, atp.
- Elektromagnetická kompatibilita
- Ekologická likvidace

ODKAZY NA DALŠÍ ZDROJE INFORMACÍ

[1] http://www.spcr.cz/statistika/elektrina.htm

[2] http://www.praha.czso.cz/csu/2010edicniplan.nsf/publ/8101-10-

[3] Naděžda Pavelková: Regulované pohony s měniči frekvence - 1. díl
http://www.propohony.cz/menice-a-regulatory/176-regulovane-pohony-s-menici-frekvence-1-dil

[4] Florian Guldner: Energy Managament: Experiences Framework, and Outlook
http://odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/EBV/ARC_Gueldner.pdf

[5] Naděžda Pavelková: Účinnost elektrických motorů a snižování spotřeby elektrické energie http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37850

[6] Gustav Holub : Nové třídy účinnosti asynchronních motorů
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=43677

[7] Uli Vetter : Energetická účinnost výtahových komponentů http://vytahy.tzb-info.cz/provoz-a-servis/6667-energeticka-ucinnost-vytahovych-komponentu

[8] Gustav Holub: Blízká perspektiva asynchronních motorů s vysokou účinností http://www.propohony.cz/stridave-motory/169-blizka-perspektiva-asynchronnich-motor-s-vysokou-ucinnosti

[9] Lubomír Čepek: Úspory elektrické energie při užívání energeticky úsporných čerpadel http://www.tzb-info.cz/5180-uspory-elektricke-energie-pri-uzivani-energeticky-spornych-cerpadel

[10] Naděžda Pavelková Regulované pohony ABB pro automatizaci a úspory elektrické energie http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37300

Děkuji za pozornost!

Martin Škopek
tel.: 603 320 822
martin@e-c.cz , www.e-c.cz

ENERGY CONSULTING SERVICE, s.r.o.

Ing. Martin **Škopek**, Ph.D.
jednatel

Energy Consulting Service, s.r.o.
Alešova 21
370 01 České Budějovice
IČ: 28062868 • DIČ: CZ28062868
www.e-c.cz

Office:
telefon: +420 386 351 778
fax: +420 386 351 778
mobil: +420 603 320 822
e-mail: martin@e-c.cz