

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave

Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva

---

# *Spotreba elektrickej energie*

---

Bc. Veronika Cyprichová  
Chemické inžinierstvo 2 roč. Ing  
2016/2017

# Obsah

---

1. Zoznam literatúry a abstrakty použitých článkov.....	3
2. Abstract .....	5
3. Spotreba elektrickej energie .....	6
3.1 Hlavné spotrebiče elektrickej energie .....	6
3.2 Aplikácia vysokoúčinných elektromotorov z hľadiska legislatívy .....	6
3.3 Frekvenčné meniče .....	7
3.4 Inteligentné meranie a siete „Smart Grid“ .....	8
3.5 Peak-load manažment .....	8
4. Doplnkový zoznam literatúry .....	9

# 1. Zoznam literatúry a abstrakty použitých článkov

---

[1] <https://www.ovoenergy.com/guides/energy-guides/average-electricity-prices-kwh.html>  
14.10.2016

[2] Tallal Javied, Tobias Rackow, Roland Stankalla, Christian Sterk, Jörg Franke, A Study on Electric Energy Consumption of Manufacturing Companies in the German Industry with the Focus on Electric Drives, *Procedia CIRP*, Volume 41, 2016, Pages 318-322, ISSN 2212-8271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.10.006>.

[3] Patrick Miller, Babatunde Olateju, Amit Kumar, A techno-economic analysis of cost savings for retrofitting industrial aerial coolers with variable frequency drives, *Energy Conversion and Management*, Volume 54, Issue 1, February 2012, Pages 81-89, ISSN 0196-8904, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2011.09.018>.

[4] Javier Leiva, Alfonso Palacios, José A. Aguado, Smart metering trends, implications and necessities: A policy review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 55, March 2016, Pages 227-233, ISSN 1364-0321

[5] P. Loganthurai, V. Rajasekaran, K. Gnanambal, Evolutionary algorithm based optimum scheduling of processing units in rice industry to reduce peak demand, *Energy*, Volume 107, 15 July 2016, Pages 419-430, ISSN 0360-5442

[2] **Abstract:** The German industry consumes almost 50 percent of the total electricity produced in Germany. Upon breaking down the industry in terms of electrical energy consumption, it is shown that more than 70 percent of electricity, required in the industry, is used to operate electric drives. Given the huge rise in energy prices, especially in Germany, coupled with the lack of information and data on electric motors, the need to make the power consumption of electric drives transparent became more important than ever. This paper concentrates on the investigation of the electricity consumption of electric drives in the manufacturing plants. The focus lies on the various industrial applications of electric drives along with the identification of the main electric power consumers in the German industry. In order to create transparency regarding the energy consumption, a study was carried out in the second quartile of 2014. A number of randomly selected German manufacturing companies were sent an online questionnaire. After eliminating the incomplete answers, 210 answers were used as the database. The study on the real distribution of electric power consumption in the German manufacturing industry is presented for the first time in this paper. The study shows that most of electric power consumption can be allocated to a few applications in the industry. The dominant applications are compressed air systems, pumping systems and air conditioning systems. Other significant motor applications are cooling systems and machine tool. This paper rounds off by presenting the main study results as well as future research potential examined during this investigation.

Keywords: Electric drives; Sustainable manufacturing; Energy efficiency; Energy consumption

[3] **Abstract:** A techno-economic model was created in order to develop curves that show the typical annual energy savings, rate of return, and payback for retrofitting aerial coolers with variable frequency drives (VFDs) for up to 50 motors, motor sizes from 4 to 186 kW (5–250hp),

and varying climate conditions. The cost savings due to installing a VFD depends on the reduction in energy used, as well as the reduction in power demand, the capital cost of the VFD, installation cost of the VFD, change in operating cost, and cost of electricity. The geographic locations examined in this report were Fort McMurray, Calgary, Vancouver, and Thunder Bay. This study found that the IRR increases rapidly with motor size, becomes greater than 10% at a motor size of approximately 15 kW, and may be as high as 220% (for the case of fifty, 186 kW motors). The IRR is sensitive to the number of fan motors retrofitted with VFDs, however the sensitivity rapidly declines as the number of motors is increased beyond five. The simple payback period becomes less than 1 year and nearly independent of number of motors and motor size for motors larger than 90 kW. Ambient temperature and geographic location affect the profitability of the investment, although the IRR only changes by approximately 4%.

Keywords: Variable frequency drive; Aerial cooler; Energy savings; Cost savings; Techno-economic assessment

**[4] Abstract:** Renewable generation, energy storage, electric vehicles and energy management systems are examples of increasingly widespread products and services that the electricity grids must accommodate safely and efficiently. The fulfillment of this objective involves innovation and, more specifically, the modernization of the existing electricity infrastructure into so-called smart grids, which are based on the interaction between suppliers and consumers through control systems and smart metering. However, the development of these systems requires regulations that take into account the technological capabilities and the needs of users both in the present and in the immediate future. This paper starts with a review of the energy policies aimed at the implementation of smart metering infrastructures (SMI) in Spain, Europe, and around the world. It then addresses the trends in the energy sector that will shape the future and the contribution that SMI are likely to make given its current status, its potential, its limitations, and the implications they would have. Lastly, the paper set out the conclusions reached and makes recommendations for the adaptation of policies.

Keywords: Smart meters; Policy; Renewable energies; Energy efficiency; Prosumer; Electric vehicle

**[5] Abstract:** In India, power shortage is a major issue for economical growth. According to the data provided by National Load Despatch Centre, peak power shortage in Tamilnadu during the year 2014 varies between 3000 MW and 4000 MW. This power shortage can be reduced by increasing installed capacity of conventional and non-conventional energy sources. But the construction of new generation plants is cost-effective and also power generation is not assured throughout the year. This power shortage can also be minimized by implementing load management in the consumer side. This paper focuses on the reduction of peak demand by the proper operating schedule of major equipments. For this analysis, three rice industries have been considered. The major operating sections in the rice industries are pre-cleaning, soaking, pre-milling and milling. In this proposed work, to reduce the peak demand, the operating time of pre-milling section is rescheduled using the optimization techniques, DE (Differential Evolution), PSO (Particle Swarm Optimization) and ABC (Artificial Bee Colony). The rescheduled results given by DE, PSO and ABC algorithms reduce the peak demand cost of the energy consumed in three rice industries. However, the optimum scheduling obtained by ABC reduces the feeder power flow than the DE and PSO scheduling. Keywords: Demand side management; Operating schedule of processing units; Differential evolution; Particle swarm optimization; Artificial bee colony; Cost saving

## 2. Abstract

---

Consumption of electric energy has become popular topic of engineer's discussion. The main interest has a potential of power reduction of which eligible funding and CO<sub>2</sub> savings can be obtained. This report discusses the main points of electricity consumption in industry which appropriates to more than 50% of total energy consumption. Compressors and pumps are considered as the biggest energy consumers in chemical industry. From that point of view, they have great potential in energy savings. Devices in every kind of industry are mostly driven by electro motors which have passed through renesance in last decades. Major changes are in design of rotor and regulation. When it comes to regulation, the variable drivers are commonly used to improve motors efficiency but is is discussed that they are not required to use in every case. Modernization of electro-motors depends on type of technology and process conditions. One of the newest and popular application are smart metering systems which have many positives compared to old measuring systems like more saved data, easy reading, simple and innovative using. It should help to show the peak period demand of electricity which represents common problem in manufacturing. Higher demand of energy in some parts of day cross set taxes and increase cost. This elaborate summarize few of the most common problems in electricity demand in these days

### 3. Spotreba elektrickej energie

---

Priemyselná revolúcia v 19. storočí tvorila odrazový mostík pre zvýšenie produkcie elektrickej energie. Hlavným zdrojom výroby elektriny bolo fosílné palivo, uhlie, ktorého spaľovanie aj dodnes pokrýva veľkú časť svetových energetických požiadaviek. S neustálym a rapídny vývojom priemyslu sa celosvetovo požiadavky na elektrickú energiu zvyšujú. V snahe pokryť tieto požiadavky sa spoločnosť snaží vyrábať elektriny viac, čo súčasne spôsobuje aj zvýšenie produkcie skleníkového plynu CO<sub>2</sub>. Literatúra, ktorá bola pri vypracovaní tejto štúdie používaná, vždy v úvode spomína zvyšujúci sa dopyt a zároveň rast ceny elektrickej energie. V globále, závisí jej cena od rôznych faktorov ako je zdroj paliva, spôsob výroby, dokonca aj ročné obdobie. [1] Cieľom tohto elaborátu je pojednať o najväčších spotrebičoch elektrickej energie v priemysle, o vývoji pri spotrebe elektrickej energie, jej potenciálnych úsporách a prípadných problémoch spojených s jej používaním.

#### 3.1 Hlavné spotrebiče elektrickej energie

---

Spotreba elektrickej energie primárne závisí od typu priemyslu resp. od toho čo a v akom množstve podnik vyrába. Nemecko, energetický mohykán Európy, spotrebuje skoro dvojnásobok elektrickej energie v priemysle oproti spotrebe v domácnostiach po celej krajine. K najväčším priemyselným spotrebičom patria zariadenia na kompresiu vzduchu, čerpadlá a chladiace systémy, vrátane klimatizácie. Autori sa snažili identifikovať spotrebu elektrickej energie položením otázok, týkajúcich sa spotreby, podnikom rôzneho druhu, po celom Nemecku. Takýto prehľad spotreby energie by mal mať čestné miesto v hospodárstve každej krajiny. Okrem všeobecného prehľadu by mohol viesť k identifikácii skrytých problémov. V súvislosti s tým, sa veľmi populárnym stáva zavádzanie siete „smart grid“, ktorým sa v tejto práci tiež budem okrajovo venovať.

Stlačený vzduch a voda sa v nemeckom chemickom priemysle spotrebúva priam enormne, a preto sa aj najviac elektrickej energie spotrebúva práve na pohon čerpadiel a kompresorov (chladenie, rekcia, doprava tekutín). Približne 70% energie, ktorú ma podnik k dispozícii, sa spotrebuje na pohon týchto zariadení. Pri chladiacich systémoch sa spotreba energie neviaže priamo na typ priemyslu, keďže v dnešnej dobe má aj každá administratívna budova (teda nepriemyselná) zabudovanú klimatizáciu. Pohon spomínaných zariadení, zväčša zabezpečujú elektromotory. Pri ich aplikácii je veľmi dôležitá správne nastavená regulácia, ktorej priamym odrazom je celková spotreba elektrickej energie. [2]

#### 3.2 Aplikácia vysokoúčinných elektromotorov z hľadiska legislatívy

---

Spoločnosť rieši otázku zvyšujúcej sa spotreby elektrickej energie a tým aj produkcie CO<sub>2</sub> zavádzaním tzv. vysokoúčinných motorov. Na základe svetového prieskumu elektrina spotrebovaná motormi predstavuje viac ako polovicu energie, ktorá sa skonzumuje v priemysle. Svetové priemyselné centrá ako USA, Taiwan, EU alebo Japonsko zvyšujú požiadavky na efektívnosť motorov v priemysle a snažia sa pomocou legislatívy dosiahnuť globálne zmeny.

V súčasnosti existuje mnoho spôsobov, ktoré slúžia na zvýšenie účinnosti motorov. Mnohé z nich sú spojené so zmenou dizajnu rotora resp. samotných lopatiek alebo zavádzaním nových typov ocelí s lepšími elektromagnetickými vlastnosťami. Nikola Tesla, ktorý je otcom elektromagnetickej indukcie sa prirodzene stal aj zakladateľom indukčného motora. Za zatiaľ najúspešnejšie typy motorov sa považujú motory s permanentným magnetom a očakáva sa, že úplne nahradia indukčné motory na nízke napätie. Ich výhody sú spojené s vysokou účinnosťou, dlhou životnosťou, nízkou spotrebou energie a nízkou hlučnosťou. Užívateľ však

musí počítať s vyššími investičnými nákladmi, ktoré majú vzhľadom k rýchlo rastúcim výkonnostným požiadavkám aj perspektívu rýchlej návratnosti. Často spomínanou nevýhodou pri týchto motoroch býva ich nestabilná regulácia pri veľmi nízkych frekvenciách aj pri použití frekvenčného meniča.

Účinnosť elektromotora hovorí o tom ako efektívne toto zariadenie premieňa elektrickú energiu na mechanickú prácu s ohľadom na straty, ktoré môžu byť spojené s opotrebovaním a generovaním tepla, ktoré odchádza z povrchu rotora. Podľa svetovej klasifikácie IEC60034 môžeme motory z hľadiska účinnosti zaradiť do troch (až štyroch) hlavných tried. Najnižšiu triedu predstavujú motory s účinnosťou IE1 (štandard). Následne sa cez IE2 (vysoká) dostávame až k zatiaľ najvyššej tiede IE3 (prémiová). V rámci svetovej snahy o redukciu skleníkových plynov sa aj v Európskej únii prijalo opatrenie, že do roku 2017 musia všetky motory v Európe patriť pod triedu účinnosti IE3. Prognóza v rámci rozmachu trvalo udržateľných zdrojov hovorí, že triedu IE3 čoskoro nahradí trieda IE4, ktorej požiadavky na účinnosť motora budú ešte vyššie. Všetky následne zmeny a prestavby v rámci prevádzky znamenajú z hľadiska legislatívy, ktorú pokiaľ nevieme nejakým spôsobom obísť, nutné náklady navyše. Tým chcem povedať, že ak pracujeme v prevádzke so zastaranou technológiou treba myslieť na to, že skôr či neskôr bude treba napr. starý motor vymeniť a najlepšie by bolo bez predchádzajúceho platenia pokuty. Pri nových prevádzkach je veľmi rozumné ak rátame s menšou rezervou, či už finančnou alebo priestorovou na aplikáciu možných budúcich zmien zariadení.

### 3.3 Frekvenčné meniče

---

Ďalším moderným spôsobom zefektívnenia technologického procesu sa stáva inštalácia frekvenčných meničov. Frekvenčné meniče (FM) sú meniče napätia a frekvencie v elektrických pohonoch. Používajú sa vtedy, ak chceme meniť frekvenčné alebo napäťové parametre siete, ktoré máme k dispozícii. Aplikácia FM sa odporúča pri elektromotoroch ktorých výkon je resp. môže byť premenlivý.

Dostupné informácie zväčša poukazujú na benefity aplikácie FM v podobe:

- úspory elektrickej energie vďaka riadeniu výkonu elektromotora a teda neodchádza k plytvaniu práce nad rámec potreby
- zabezpečenia plynulého nábehu elektromotora postupným prísunom energie vďaka čomu predchádzajú možnému opotrebovaniu lopatiek v dôsledku stresu a tak predlžujú životnosť elektromotora
- nepriamo aj znižovanie produkcie emisií CO<sub>2</sub> (0,88kg CO<sub>2</sub>/kWh), resp. nižšie emisné poplatky čo súvisí s nižšou spotrebou energie

Najčastejšie problémy sú:

- inštalácia FM na základe nepresných/neúplných informácií, nezohľadnenie všetkých podmienok ktoré na proces vplyvajú (napr. meniace sa vonkajšie podmienky ako počasie, geografické podmienky)
- vysoké investičné náklady
- nekompatibilita zariadení, na ktoré chcem FM aplikovať (výmena viacerých komponentov prípadne celého elektromotora -> zvýšené investičné náklady)
- náhle zmeny napätia v dôsledku používania FM môžu spôsobovať stres na lopatky motora. Tento risk narastá s dĺžkou kábla medzi FM a motorom.

Technologicko-ekonomický model článku porovnáva spotrebu energie motora s FM a motora s konštantnou rýchlosťou otáčok, ktorého spotreba energie sa počas roka prakticky nemení. Tento model bol vyhotovený pre aplikáciu iba jedného FM a zhrňa všetky náklady spojené s nákupom, inštaláciou (vrátane práce), všetkých potrebných komponentov, ale aj

náklady na riadenie a údržbu FM. Náklady na dovoz sa v článku nespomínajú, možno nie sú relevantné, ale myslím si, že v prípade Slovenska môžu predstavovať vysoký náklad. [3] Vo finále ekonomickej analýze sa snažia objektívne pojednať o spotrebe el. energie so zohľadnením na výkon motora, počet aplikovaných FM a lokáciu chladiacej veže. Autori graficky ukázali aký výnos a úspory môžem pri týchto rôznych podmienkach dosiahnuť. Porovnali úspory, výnos a aj návratnosť danej investície. Páčilo sa mi že uviedli dopodrobna všetky použité premenné a dokonca v úplnom závere aj vzťahy na výpočet úspor.

### 3.4 Inteligentné meranie a siete „Smart Grid“

---

V rámci modernizácie priemyslu sa do popredia dostáva aj aplikácia inteligentných meracích systémov, ktoré umožňujú zber všetkých dát a automatizáciu distribučnej siete. Súčasné konvenčné meracie prístroje často neposkytujú dostatok dát, sú zastarane alebo dokonca nedôveryhodné (čo je ešte horší prípad). Takzvaný „Smart metering“ slúži hlavne na zlepšenie komunikácie medzi dodávateľom a spotrebiteľom elektrickej energie. Výhodou je možnosť diaľkového ovládania a kontroly spotreby el. energie aj pomocou aplikácie v mobile alebo tablete, kontrola neoprávnenej manipulácie a odberov elektrickej energie, prehľad o spotrebe energie spolu s aktuálnymi cenami a veľa iných. Takáto forma komunikácia medzi spotrebiteľom a dodávateľom je veľmi inovatívna, avšak finančne náročná. Ak sa rozhodneme pre zavedenie inteligentných meracích prístrojov do prevádzky mali by sme okrem návratnosti investície overiť či je ich zavedenie možné vzhľadom na vek a vybavenosť zariadení. Vyhliadkou do budúcnosti je zapojenie všetkých priemyselných podnikov do „smart grid“, ktorej hlavným cieľom je v skratke monitorovať a optimalizovať celosvetovú spotrebu elektrickej energie. [4]

### 3.5 Peak-load manažment

---

Potenciálne úspory elektrickej energie nesúvisia iba s efektivitou zariadení, ktoré v prevádzke pracujú, ale aj s distribúciou energie. Úlohou energetického manažmentu je redukcia tzv. píkov v spotrebe el. energie, ktoré vznikajú v dôsledku nerovnomerného zaťaženia prevádzky. Zvýšená spotreba elektrickej energie v nejakom časovom úseku vedie k prekročeniu stanovenej dennej taxy a následne k zvýšeným nákladom. Redukciou vzniku takýchto píkov v odbere energie zabezpečíme:

- rovnomerné zaťaženie prevádzky a tým znížime stres vyvíjaný na elektromotory
- spotrebu elektriny v rámci dohodnutej taxy
- zabezpečíme v prevádzke energetickú rezervu
- znížime environmentálne znečistenie

Identifikácii a redukcii píkov v odbere el. energie predchádza dobre vypracovaný energetický audit. Predstavuje štúdiu o tom ako je energia používaná so zámerom identifikovať problémy a možnosti úspor. Oblasť najvyššej spotreby elektrickej energie znamená potenciálnu oblasť úspor a teda oblasť, ktorou sa dá ďalej z hľadiska úspor zaoberať. V dnešnej dobe sa na riešenie tohto problému používajú algoritmy obsahujúce minimalizačné funkcie zamerané na spotrebu energie počas celého dňa. O detailoch jednotlivých algoritmov sa dočítate v literatúre. Dôležité je, že ich výsledkom je zmena operačného času zariadení resp. optimálny rozvrh rozloženia el. energie jednotlivých jednotiek tak, aby sme čo najviac energie ušetrili. [5]



## 4. Doplnkový zoznam literatúry

---

(1)

Niamh O'Connell, Pierre Pinson, Henrik Madsen, Mark O'Malley, Benefits and challenges of electrical demand response: A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 39, November 2014, Pages 686-699, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.098>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114005504>)

(2)

K.S. Reddy, Madhusudan Kumar, T.K. Mallick, H. Sharon, S. Lokeswaran, A review of Integration, Control, Communication and Metering (ICCM) of renewable energy based smart grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 38, October 2014, Pages 180-192, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.049>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003748>)

(3)

Pierluigi Siano, Demand response and smart grids—A survey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 30, February 2014, Pages 461-478, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113007211>)

(4)

Eric W.T. Ngai, C.T. Daniel Ng, George Q. Huang, Energy sustainability for production design and operations, *International Journal of Production Economics*, Volume 146, Issue 2, December 2013, Pages 383-385, ISSN 0925-5273, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.10.002>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313004325>)

(5)

Hao Luo, Bing Du, George Q. Huang, Huaping Chen, Xiaolin Li, Hybrid flow shop scheduling considering machine electricity consumption cost, *International Journal of Production Economics*, Volume 146, Issue 2, December 2013, Pages 423-439, ISSN 0925-5273, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.028>.  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313000467>)