

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Vyhodnocení energetické náročnosti výtahů, osazených různými typy strojů.

Jakub Klema

Bakalářská práce

2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 22. 4. 2013

Jakub Klema

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ladislavu Štěpánkovi, dále Ing. Karlu Klemovi a Jaroslavu Flegrovi za odborné konzultace a mnoho praktických rad. Dále bych rád poděkoval firmě Výtahy Pardubice a.s. za umožnění přístupu k měřeným objektům a poskytnutí prostředků k realizaci měření.

## **Souhrn**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, realizací a vyhodnocením měření odběru elektrické energie u různých typů výtahových strojů. Teoretická část okrajově osvětluje funkci jednotlivých typů motorů využitých ve výtahové technice a způsobů regulace jejich otáček. Dále jsou zde popsány nejčastěji užívané typy výtahů pro dopravu osob a nákladu a jejich konstrukce. Praktická část se zabývá konkrétním popisem užitých komponentů a jejich vlivem na energetickou náročnost a bezpečnost výtahového systému. Součástí praktické části je měření energetické náročnosti vybraných typů pohonů a jejich porovnání.

## **Klíčová slova**

Výtahové stroje; Výtahy; Synchronní motory; Asynchronní motory;

## **Title**

Evaluation of energy consumption of elevators, equipped with various types of machines.

## **Abstract**

This thesis deals with design, implementation and evaluation of measurement of electricity consumption in various types of elevator equipment. The theoretical part explains the function of motors and control their speed. There are also the most frequently reported types of lifts used for transporting people and cargo, and their construction. The practical part deals with a specific description of the components used and their impact on energy efficiency and safety of the elevator system. The practical part is to measure the energy performance of selected types of drives and their comparison.

## **Keywords**

Lift machines, elevators, Synchronous motors, Induction motors;

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Střídavé motory .....	10
2.1	Asynchronní motory.....	10
2.2	Synchronní motory .....	17
3	Frekvenční řízení otáček střídavých motorů .....	21
3.1	Skalární řízení otáček střídavých motorů.....	21
3.2	Vektorové řízení otáček střídavých motorů .....	24
3.3	Porovnání vektorového řízení otáček střídavých motorů a řízení skalárního .....	26
4	Vybrané výtahové systémy .....	27
4.1	Výtahový systém s trakční pohonem .....	27
4.2	Výtahový systém s bubnovým pohonem .....	28
4.3	Výtahové stroje .....	28
5	Zhodnocení výtahových systémů .....	30
5.1	Obecné zdůvodnění modernizací .....	30
5.2	Důvody využití frekvenčního řízení otáček motoru.....	32
5.3	Řízení výtahu.....	33
5.4	Úspora energie.....	34
5.5	Praktické poznatky o testovaných výtahových strojích .....	35
6	Měření energetické náročnosti výtahových strojů .....	36
6.1	Použití měřicí přístroje a zapojení měřícího pracoviště .....	36
6.2	Postup při měření .....	37
6.3	Naměřené výsledky odběru energie konkrétních výtahových strojů užitých v reálném provozu.....	39
6.3	Ověření naměřených hodnot fyzikálním výpočtem a alternativní měřicí metodou .....	51
7	Závěr.....	58

## Seznam obrázků

Obr. 1: Tvar plechů ve statoru a v rotoru .....	10
Obr. 2: Rotorová klec motoru s kotvou nakrátko.....	11
Obr. 3: Struktura asynchronního motoru.....	12
Obr. 4: Momentová charakteristika asynchronního stroje .....	14
Obr. 5: Proudová charakteristika asynchronního motoru.....	14
Obr. 6: Momentové char. při přepínání statorového vinutí asynchronního trojfázového motoru Y – D.....	16
Obr. 7: Konstrukce rotoru synchronních motorů .....	18
Obr. 8: Momentová charakteristika synchronního stroje .....	19
Obr. 9: Grafická závislost momentu stroje na zátěžném úhlu.....	20
Obr. 10: Frekvenční napěťové řízení s otevřenou smyčkou .....	22
Obr. 11: Závislost charakteristických veličin na úhlové rychlosti .....	23
Obr. 12: Fázorový diagram vektorového řízení .....	24
Obr. 13: Blokové schéma vektorového řízení.....	25
Obr. 14: Trakční výtahový systém a jeho součásti.....	27
Obr. 15: Zavěšení protiváhy trakčního a bubnového pohonu .....	28
Obr. 16: Převodový a bezpřevodový výtahový stroj.....	30
Obr. 17 Frekvenční měnič OMRON CIMR L7Z44P0.....	33
Obr. 18: Zapojení analyzátoru Electrex X3M při měření veličin v trojfázovém rozvodu .....	36
Obr. 19: Zapojení trojfázového elektroměru s čítačem impulsů.....	55
Obr. 20: Trojfázový elektroměr a čítač impulsů .....	56

## Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled nejzávažnějších provozních rizik prioritní úrovně I. a odpovídající nápravná opatření.....	32
Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie bubnového převodového stroje .....	40
Tab. 3 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření energie spotřeby u BOV.....	40
Tab. 4 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie bezpřevodového synchronního stroje .....	43
Tab. 5 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření spotřeby energie u bezpřevodového synchronního stroje .....	43
Tab. 6 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením .....	46
Tab. 7 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření spotřeby energie u převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením .....	46
Tab. 8 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie pro jednorychlostní výtahový stroj.....	49
Tab. 9 Tabulka vypočtených hodnot pro bubnový systém.....	52
Tab. 10 Tabulka vypočtených hodnot pro trakční systém .....	53
Tab. 11 Tabulka hodnot pro bubnový výtah naměřených pomocí alternativní metody měření .....	56

## Seznam grafů

Graf 1. Křivky účinnosti různých trakčních pohonů.....	29
Graf 2. Spotřeba energie bubnového převodového stroje.....	41
Graf 3. Spotřeba energie bezpřevodového synchronního stroje .....	44
Graf 4. Spotřeba energie převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením stroje .....	47
Graf 5. Spotřeba energie jednorychlostního výtahového stroje .....	50
Graf 6. Porovnání naměřené spotřeby bubnového systému se spotřebou vypočtenou .....	54
Graf 7. Porovnání naměřené spotřeby trakčního systému se spotřebou vypočtenou.....	54
Graf 8. . Porovnání naměřených hodnot spotřeby bubnového systému pomocí různých metod.....	57
Graf 9. Porovnání spotřeby všech měřených výtahových strojů.....	58



# I. Teoretická část

## 1 Úvod

Ve výtahové technice se u lanových výtahů používá několik typů výtahových strojů. Tyto stroje mají různé technické provedení, proto pro zefektivnění provozu a snížení nákladů na něj, je nutné vyhodnotit, které z nich jsou nejvhodněji užitečné z hlediska úspor elektrické energie.

Vzhledem k rostoucím cenám energií není tento parametr zanedbatelný. Výsledek této práce bude ukázkou toho, kolik lze uspořit elektrické energie vhodnou volbou typu pohonu a způsobu jeho řízení.

Cílem této práce je nejprve přiblížit funkci jednotlivých druhů pohonů a jejich součástí, a poté ukázat jak se konstrukce projevuje na spotřebě elektrické energie. Experimentálním měřením spotřeby elektrické energie jednotlivých systémů (typ stroje, způsob řízení) na testovacím modelu a pak i v reálném provozu zjistíme, poměr odběrů elektrické energie jednotlivých strojů, pro představu, který systém je ve stanovených podmínkách nejúspornější.

## 2 Střídavé motory

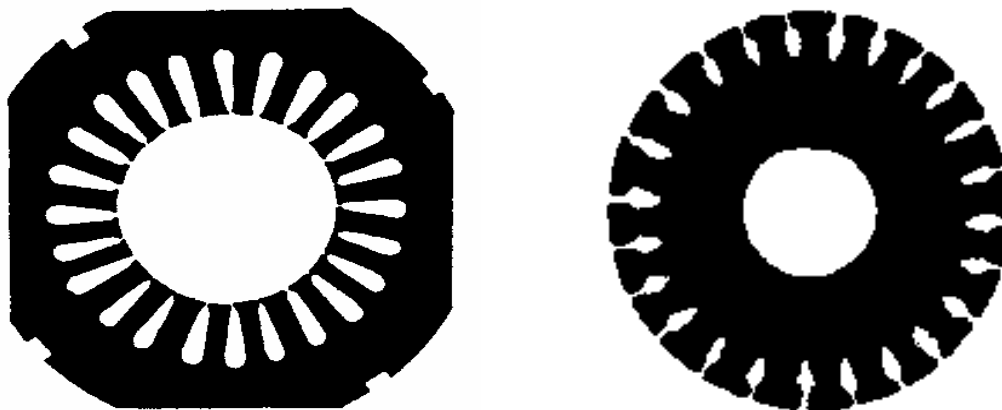
### 2.1 Asynchronní motory

#### a) Úvod

Jsou to nejčastěji využívané elektromotory. Používají se proto, že jsou nejjednodušší, nejlevnější, provozně nejspolehlivější a vyžadují malou údržbu. Jsou v provedení jednofázovém nebo trojfázovém dle potřebného výkonu. Užívají se k pohonům zařízení, jako jsou ventilátory, kompresory, pásové dopravníky, jeřáby, výtahy, obráběcí stroje, atd.

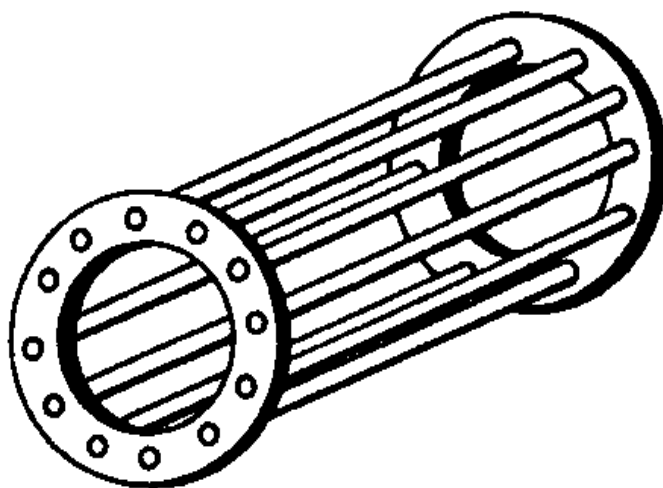
#### b) Konstrukce asynchronního motoru

Asynchronní motor se skládá z rotoru a statoru. Stator je pevná část skládající se z litinové kostry a dvou ložiskových štítů. Do kostry jsou zalisovány navzájem izolované plechy s drážkami (viz. Obr. 1 levý). Toto tvoří magnetický obvod stroje. Do drážek se vkládá vinutí, buď jedno, nebo tři dle počtu fází. Na hřídeli točivé části motoru, která se nazývá rotor, jsou nalisovány rotorové plechy (viz. Obr. 1 pravý).



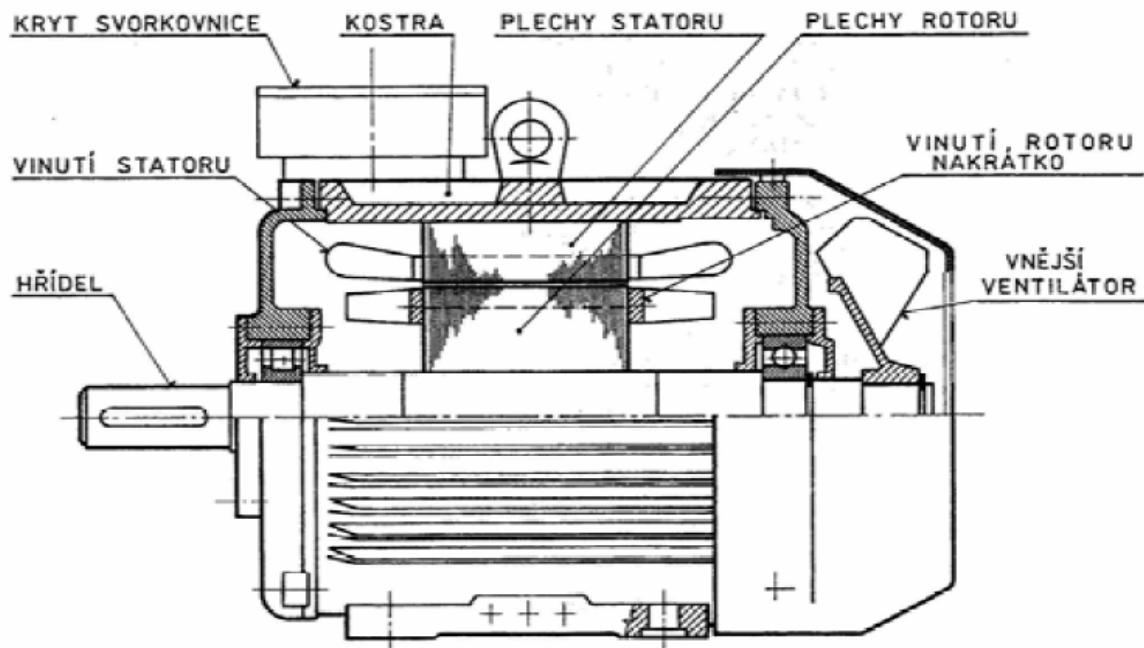
Obr. 1: Tvar plechů ve statoru (levý) a v rotoru (pravý)

Tyto plechy tvoří druhou část magnetického obvodu. Rotor se otáčí v ložiscích, ta jsou uloženy ve štítech statoru. Vinutí rotoru je realizováno dvojím způsobem. Mezi statorem a rotorem je vzduchová mezera 0,3-1mm. Je-li vinutí statoru uspořádáno stejně jako vinutí rotoru, jsou vývody tohoto vinutí vyvedeny ke kroužkům, jde o motor s kroužkovou kotvou. Jsou-li v drážkách rotoru umístěny neizolované tyče na obou čelních stranách spojeny spojovacími kruhy nakrátko, jde o motor s kotvou nakrátko (viz. Obr. 2).



*Obr. 2: Rotorová klec motoru s kotvou nakrátko*

Celková struktura motoru obsahuje ještě další součásti. Tyto součásti jsou znázorněny na následujícím obrázku (viz. Obr. 3).



Obr. 3: Struktura asynchronního motoru

### c) Princip činnosti asynchronního motoru

Princip činnosti asynchronního motoru je založen na indukci napětí a proudů v rotoru. Základem funkce asynchronního motoru je točivé magnetické pole. Trojfázové vinutí rozložené ve statoru a napájené souměrnou soustavou proudů, vytváří točivé magnetomotorické napětí a točivé magnetické pole. Otáčky magnetického pole statoru  $n_{s1}$  asynchronního motoru (tzv. synchronní otáčky) jsou dány vztahem (1).

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{2 \cdot p} [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

$p$  – počet pólových dvojic

$f_1$  – frekvence napájecího napětí

Mírou asynchronity, což je rozdíl otáček synchronních a mechanických otáček rotoru, je proměnná  $s$ , zvaná skluz, definovaná vztahem (2)

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

$n$ -mechanické otáčky motoru

Režimy motoru v závislosti na skluzu.

Pokud  $s \in (-\infty, 0)$  funguje jako generátor.

Pokud  $s \in (0, 1)$  funguje jako motor.

Pokud  $s \in (1, \infty)$  funguje jako brzda.

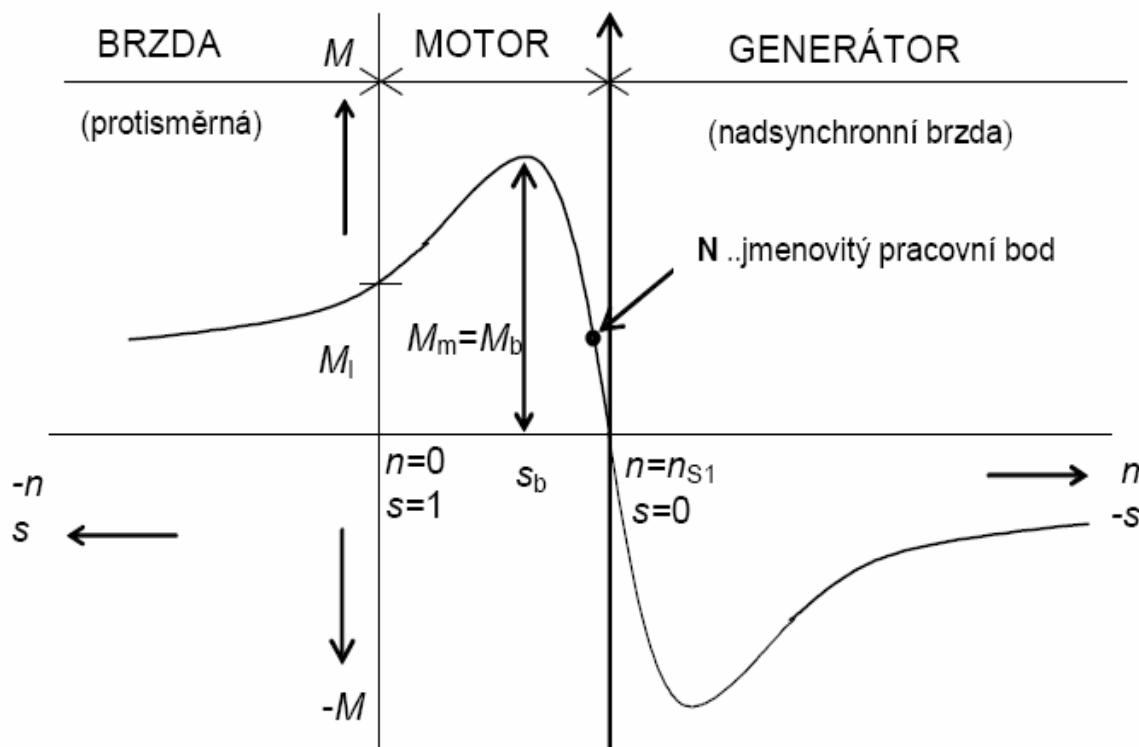
Asynchronní motory připojené k napájecí síti, mohou také pracovat jako generátory. V případě, že mechanické otáčky rotoru budou vyšší než otáčky synchronní, stroj bude dodávat činný elektrický výkon do sítě. Otáčí-li se rotor proti směru otáčení točivého magnetického pole, pracuje jako asynchronní brzda.

#### d) Výkon a moment asynchronního motoru

Grafickým vyjádřením závislosti momentu asynchronního motoru na skluzu a otáčkách  $M=f(s, n)$ , je momentová charakteristika (viz. Obr. 4). Moment asynchronního motoru závisí na parametrech motoru a také na napájecím napětí a jeho kmitočtu. Moment motoru závisí na druhé mocnině napájecího napětí, a proto vlivem snižujícího se napětí klesá moment motoru, včetně jeho maximální hodnoty  $M_b$  kvadraticky. Se změnou kmitočtu se mění moment nepřímo úměrně. Jmenovitý moment motoru na hřídeli  $M_N$  (bod N viz Obr. 4) pro jmenovitý výkon motoru  $P_N$  a jmenovité otáčky  $n_N$  se určí ze vztahu (3)

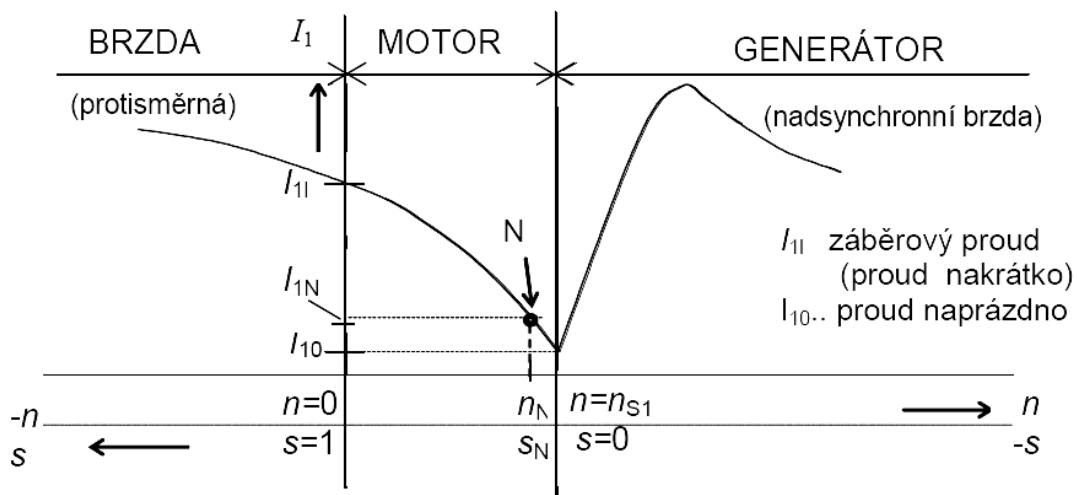
$$M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_N}{60}} = 9,55 \cdot \frac{P_N}{n_N} [N \cdot m] \quad (3)$$

$P_N$  a  $n_N$  jsou parametry motoru uvedené na výrobním štítku. Existují motory s různým jmenovitým výkonem, počtem otáček, jmenovitým proudem, účínkem a dalšími základními parametry.



Obr. 4: Momentová charakteristika asynchronního stroje

Další závislost je závislost proudu na otáčkách asynchronního motoru, tzv. proudová charakteristika asynchronního stroje (viz. Obr. 5).



Obr. 5: Proudová charakteristika asynchronního motoru

Z charakteristiky je zřejmé, že pro rozběh motoru je nutný několikanásobně větší proud ( $I_{11}$ ), než když motor dosáhne jmenovitých otáček  $n_N$ . Při těchto otáčkách stačí motoru k běhu proud několikrát menší ( $I_{1N}$ ). Je to dáno skluzem, který se při hodnotě  $n=n_{s1}$  blíží 0. (viz. Vztah 2).

Těmto parametrům by měl odpovídat jmenovitý výkon  $P_N$ . (viz. Vztah 4).

Jmenovitý výkon asynchronního motoru vychází ze vztahu (4), kde figurují jmenovité hodnoty motoru uvedené na štítku a velikost napájecího napětí.

$$P_N = U \cdot I_{1N} \cdot \cos \varphi [W] \quad (4)$$

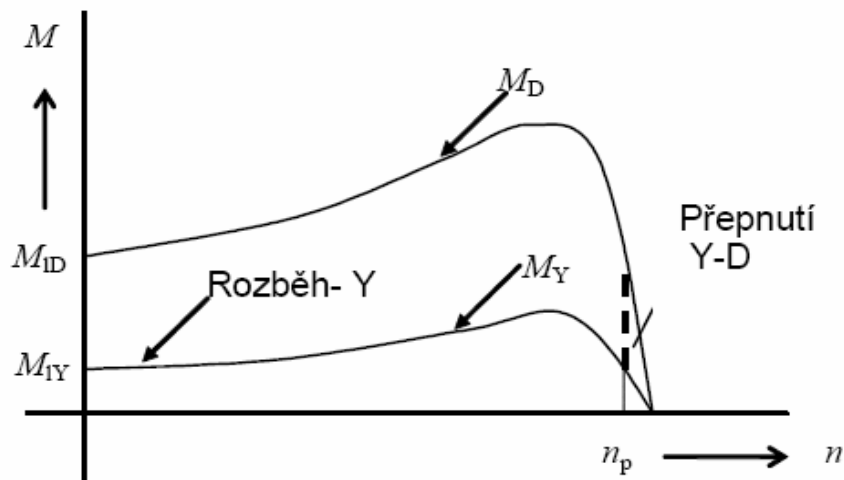
$U$  – napájecí napětí

$\cos \varphi$  – účinník

#### e) Spouštění trojfázových asynchronních motorů

Jak již bylo řečeno výše, při připojení motoru k síti teče několikrát větší záběrný proud (4-8 x), než proud jmenovitý. Jeho velikost je závislá na konstrukci motoru. Pro spuštění motoru je nejdůležitější, aby byl dostatečně velký záběrný moment při co nejmenším záběrném proudu.

U asynchronních motorů s kroužkovou kotvou se to řeší pomocí spouštěcího rezistoru  $R_s$ , jenž je připojen k vinutí rotoru. Stator se připojí k napájecímu napětí při maximální hodnotě rezistoru  $R_s$ , který se postupně snižuje a nakonec se z obvodu odpojí úplně a vinutí rotoru je spojeno nakrátko. U motorů s kotvou nakrátko se rozběh řeší přímým připojením na síť, což lze vzhledem k proudovým nárazům provádět pouze s motory do 3KW a nebo v průmyslových napájecích sítích, kde jsou rozvodné sítě velkých výkonů. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, je nutné motor spouštět přepínáním vinutí statoru tzv. hvězda - trojúhelník Y – D (viz. Obr. 6). Jmenovité parametry motoru jsou dány při zapojení statoru do trojúhelníku. Při rozběhu se toto vinutí zapojí do hvězdy, čímž se sníží napájecí napětí z napětí sdruženého  $U_s$  na napětí fázové  $U_f$ , tím se statorový proud a moment sníží 3x. Ke konci rozběhu se vinutí opět přepne do trojúhelníku, čímž se opět zvýší napájecí napětí na  $U_s$ . Pro námi požadovaný výkon je nutné, aby se vinutí opět přepnulo a napájecí napětí se zvýšilo. Víme, že moment motoru závisí na kvadrátu napájecího napětí, proto by při napájení napětím  $U_f$  motor ztratil točivý moment. K přepínání Y – D se používají kombinace stykačů nebo zvláštní spínače. K přepnutí musí dojít až na konci rozběhu, aby byl proudový a momentový ráz co nejmenší.



Obr. 6: Momentové charakteristiky při přepínání satorového vinutí asynchronního trojfázového motoru Y – D

Další možností spouštění asynchronních motorů je použití polovodičového měniče napětí. Tento člen pozvolna mění napětí, a tím řídí rozběh asynchronního motoru při výrazném snížení rozběhového proudu a tím momentu.

#### f) Řízení rychlosti asynchronních motorů

Ze vztahu (2) pro skluz lze vyjádřit vztah (5) pro otáčky motoru.

$$n = n_{s1} \cdot (1-s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1-s) = f(f_1, p, s) = f(n_{s1}, s) \quad (5)$$

Ze vztahu tedy vyplývá, že otáčky jdou měnit, buď změnou synchronních otáček, nebo změnou skluzu.

Energeticky výhodná je změna synchronních otáček. Příkon motoru je úměrný otáčkám  $n_s$  a výkon otáčkám  $n$ . Řízení otáček motoru změnou synchronních otáček se realizuje změnou kmitočtu napájecího napětí. Kmitočet změníme tak, že mezi napájecí sítí a motor zapojíme trojfázový kmitočtový měnič. Měníčů je několik typů a umožňují měnit kmitočty ve velkém rozsahu a tím regulovat otáčky motoru. Synchronní otáčky lze také změnit úpravou počtu pólových dvojic motoru. To lze provést pouze u motorů k tomu přizpůsobených (stator s proměnným počtem pólů). Změny otáček nejsou plynulé, ale pouze skokové.



Při regulaci otáček změnou skluzu, jde o změnu sklonu momentové charakteristiky, při stejných otáčkách synchronních. To se provádí buď změnou napětí, nebo změnou impedancí v obvodu rotoru, nebo statoru. Změny otáček lze dosáhnout pouze u zatíženého motoru, kdy skluz bude závislý na jeho pracovním bodě (průsečík momentové charakteristiky motoru a zatěžovacího mechanismu). Možný rozsah řízení otáček je zde velmi nízký, a proto se tento způsob řízení používá jen zřídka (např. pro pohony ventilátorů, čerpadel apod.).

### **g) Brždění asynchronního motoru**

Z momentové charakteristiky (viz. Obr. 4) je zřejmé, že asynchronní motor může vytvářet i brzdny moment. Pokud jsou otáčky asynchronní větší než synchronní, jde o tzv. generátorické brždění, protože motor funguje jako generátor (vytváří elektrickou energii). Pokud je směr otáčení motoru opačný oproti směru otáčení magnetického pole, jde o tzv. protiproudé protisměrné brždění. Opačný směr otáčení magnetického pole vznikne přepojením přírodních fází. Dalším způsobem brždění je brždění stejnosměrným proudem. Při tomto způsobu se při brždění odpojí motor od střídavého napájení a připojí se na stejnosměrný proud, čímž vznikne brzdny moment, který se snaží motor zastavit.

## **2.2 Synchronní motory**

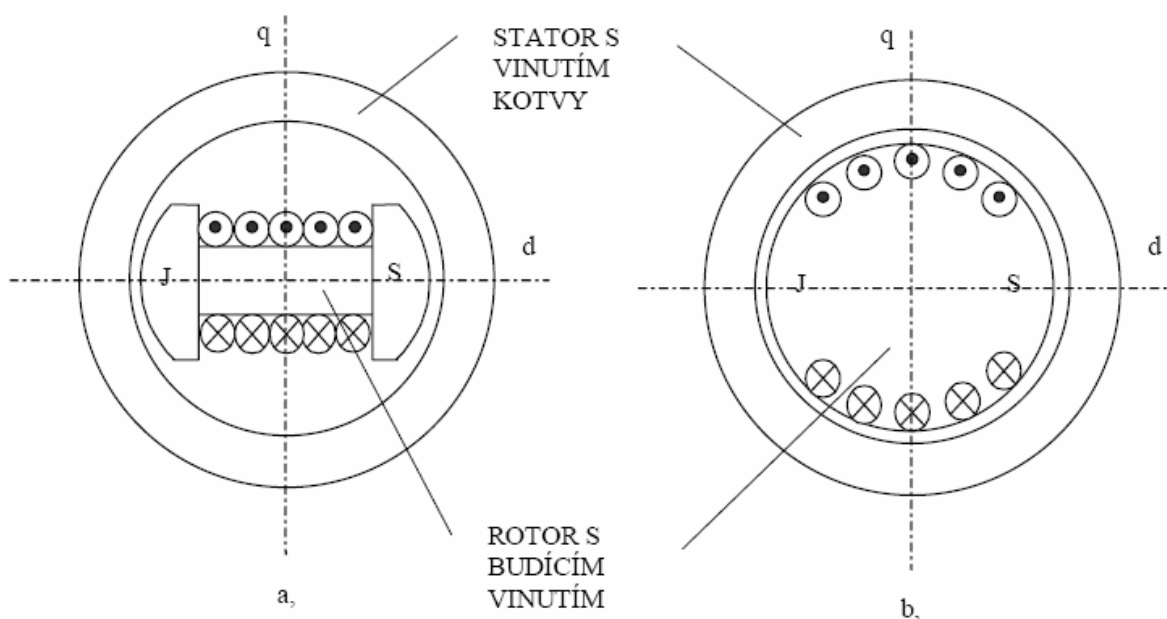
### **a) Úvod**

Narozdíl od asynchronního stroje je u synchronního nulový skluz (viz. Vztah 2). Motor se otáčí synchronními otáčkami, z čehož také vychází jeho název. Prvotně se synchronní stroje využívaly hlavně jako alternátory. S postupným rozvojem polovodičů se začaly rozvíjet i synchronní stroje v oblasti pohonů s řízením rychlosti a polohy. Rozsah výkonů těchto strojů se pohybuje řádově od jednotek wattů po megawatty. Motory s velkými výkony se využívají zejména pro pohony zdvihacích zařízení a v těžkém průmyslu. Motory s malými výkony se využívají např. v automatizaci a robotice, jako tzv. servomechanismy.

### **b) Konstrukce synchronního motoru**

Stejně jako všechny točivé stroje obsahuje rotor a stator. Stator synchronního motoru se příliš neliší od statoru motoru asynchronního. Trojfázové vinutí je umístěno do drážek statoru a

je vyvedeno na svorkovnici. Na rotoru je umístěno budící vinutí, napájené stejnosměrným proudem z tyristorového usměrňovače. Dle provedení rotoru se synchronní motory dělí na dva typy a to na motor s vyniklými póly (viz. Obr.7a) a motor s hladkým rotorem. (viz. Obr.7b). Motory s vyniklými póly mají budící cívky nasazené na pólech, na jejichž koncích jsou připevněny pólové nástavce. Póly těchto motorů jsou zhotoveny buď z dynamových plechů, nebo z litiny s pólovými nástavci z dynamových plechů. Stroje s hladkým rotorem mají rotor z vhodné jakostní oceli.



*Obr. 7: Konstrukce rotoru synchronních motorů*

*a) motor s vyniklými póly*

*b) motor s hladkým rotorem*

Existují ještě motory se speciální konstrukcí. Některé mají místo budícího vinutí permanentní magnety (nepotřebují budící zdroj), další nemají magnety ani vinutí, ale pouze rotor z vhodně tvarovaných plechů atd. Nejužívanější typy jsou však dříve zmiňované (viz. Obr. 7)

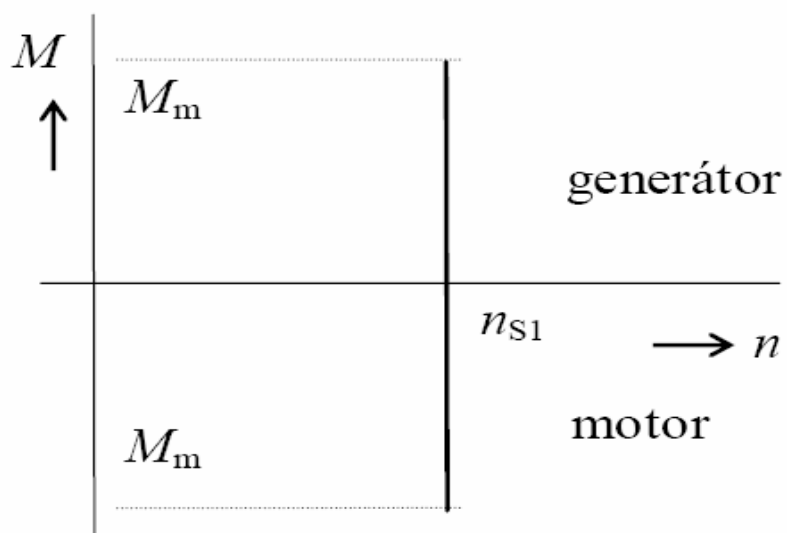
### c) Princip činnosti synchronního motoru

Stator synchronního motoru je připojen k trojfázové střídavé síti a rotor je napájen stejnosměrným proudem z polovodičového usměrňovače. Střídavé napětí připojené na stator

vytváří točivé magnetické pole, které se točí rychlostí, která závisí na kmitočtu přivedeného střídavého napětí na stator a počtem pólů (viz. Vztah 1). Rotorem, který se vlivem točivého magnetického pole nehýbe, prochází stejnosměrný proud, který budí stacionární magnetické pole. Vzájemným působením těchto dvou polí dochází k silovému působení pole statoru na pole rotoru. Orientace této síly se mění s rychlostí otáčení točivého pole statoru. To znamená, že na rotor působí proměnlivě síly v různých směrech, což zabraňuje roztočení motoru. Pokud se rotor pomocí rozběhového zařízení roztočí na rychlost, která odpovídá nebo se alespoň blíží rychlosti synchronní a připojí se k napájecí síti, tak se i po odpojení rozběhového zařízení bude rotor touto rychlostí otáčet.

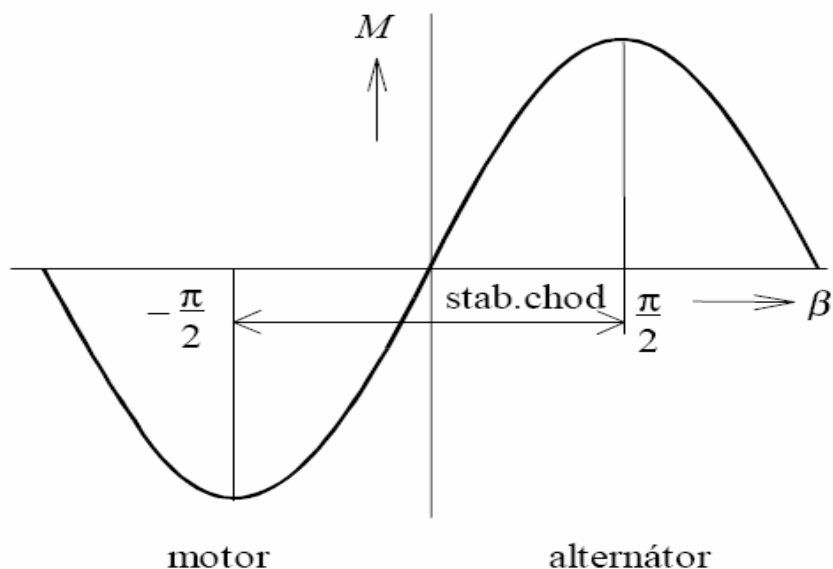
#### d) Výkon a moment synchronního motoru

Synchronní motory mohou pracovat pouze při synchronních otáčkách. Při vzrůstajícím zatížení se zvyšuje moment motoru až do určité hodnoty. Vlivem synchronizačních sil rotoru a statoru se rotor otáčí synchronními otáčkami. V případě, že je překročeno maximální zatížení motoru, dojde ke změně otáček motoru a motor vypadne ze synchronního chodu. Tento stav je pro motor nebezpečný. Může dojít k destrukci motoru vlivem proudových, ale i mechanických rázů.



Obr. 8: Momentová charakteristika synchronního stroje

Při zatížení motoru v mezích  $M_m$  se nemění rychlost otáčení, ale mění se tzv. zátěžný úhel  $\beta$ , který ukazuje velikost zatížení synchronního motoru. Je to úhel, o který se natočí rotor zatíženého motoru oproti rotoru motoru nezatíženého.



Obr. 9: Grafická závislost momentu stroje na zátěžném úhlu

Motor pracuje ve stabilním chodu, pokud je zátěžný úhel v intervalu  $\beta \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right\rangle$ . Krajní body intervalu se nazývají mez statické stability. Vztah mezi výkonem ( $P_2$ ) a příkonem ( $P_1$ ) je při zanedbání ztrát patrný ze vztahu (6), výkon je přímo roven příkonu.

$$P_1 = P_2 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi [W] \quad (6)$$

$U_1$  – vstupní napětí

$I_1$  – vstupní proud

Pomocí vztahu (6) lze vyjádřit vztah (7) pro moment synchronního motoru.

$$M = 9,55 \cdot \frac{3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi}{n_{s1}} [N \cdot m, W, \min^{-1}] \quad (7)$$

Pokud do vztahu (7) dosadíme zákonitosti ze vztahu (8) tak dostaneme vztah (9)

$$X_s \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = U_z \cdot \sin \beta \quad (8)$$

$X_s$  – reaktance vinutí

$U_z$  – napětí na zatíženém motoru

$$M = 9,55 \frac{3 \cdot U_1 \cdot U_z \cdot \sin \beta}{n_{s1} \cdot X_s} \quad (9)$$

Pokud je  $\beta = \frac{\pi}{2}$  je  $M = M_m$ , kde  $M_m$  je maximální moment.

#### e) Spouštění synchronních motorů

Synchronní motor se spouští jako asynchronní motor nakrátko. Obsahuje budící a tlumící vinutí na rotoru. Po dobu rozběhu je budící vinutí spojeno přes ochranný rezistor nakrátko. Rezistor brání vzniku přepětí na budícím vinutí při rozběhu. Hned jak se otáčky motoru přiblíží otáčkám synchronním, motor je vtažen do synchronismu.

Další, nepříliš používanou metodou je použití budícího motoru na stejné hřídeli, který roztáčí synchronní motor, až do dosažení synchronních otáček. K tomuto účelu se využívají asynchronní motory. Tento způsob se používá pro rozběh motorů vysokých výkonů

#### d) Řízení otáček synchronních motorů

Otáčky se řídí podobně jako u asynchronních motorů pomocí polovodičových měničů frekvence. Tomuto principu se budeme podrobněji věnovat v další kapitole.

## 3 Frekvenční řízení otáček střídavých motorů

### 3.1 Skalární řízení otáček střídavých motorů

#### a) Úvod

Při skalárním řízení otáček střídavých motorů měníme úhlovou rychlost napájecího napětí, čímž je možné nastavit požadovanou rychlost otáčení. V závislosti na změně frekvence se musí v daném poměru ( $U/f = \text{konstanta}$ ) měnit velikost napájecího napětí. Pokud je tato podmínka splněna, motor je ve stavu, kdy není přebuzen ani podbuzen, což znamená, že magnetický tok odpovídá ideální nominální hodnotě. Pokud není tato podmínka splněna, dochází vlivem konstantního napětí a snížením frekvence k přebuzení, čímž magnetický tok překročí ideální nominální hodnotu. Naopak při konstantním napětí dojde zvýšením frekvence k podbuzení.

Tato metoda umožňuje jednoduše řídit otáčky motoru, ale optimální chod je zajištěn pouze v ustáleném stavu (mimo přechodové stavy jako je rozběh a brždění). Neumožňuje dosažení špičkových dynamických vlastností motoru řízeného tímto způsobem. Toto řízení lze rozdělit na dva druhy. První je oblast konstantního momentu a druhá oblast konstantního výkonu.

### b) Oblast konstantního momentu

V této oblasti platí, že  $0 < f < f_0$ ;  $\Psi_1 = \text{konst.}$ ;  $I_1 = \text{konst.}$

$\Psi_1$  – satorový magnetický tok

$f_0$  – nominální frekvence motoru (frekvence pro kterou je motor konstruován)

$I_1$  – proud tekoucí statorem

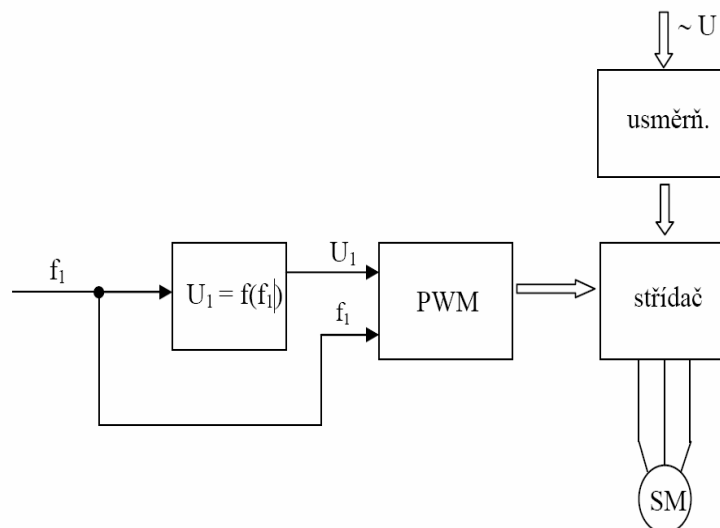
Při těchto podmínkách je závislost satorového napětí na frekvenci dáno vztahem (10)

$$\bar{U}_1 = R_1 \cdot \bar{I}_1 \cdot \frac{\Psi_1}{dt} \quad (10)$$

Pokud tento vztah derivujeme a zanedbáme odpor vinutí  $R_1$  dostaneme vztah (11) pro závislost mezi napětím a frekvencí při konstantním magnetickém toku.

$$U_1 = k \cdot f_1 \cdot \Psi_1 \longrightarrow \Psi_1 \approx \frac{U_1}{f_1} = \text{konst.} \quad (11)$$

Řídící obvody upravují napětí  $U_1$  dle požadovaného kmitočtu  $f_1$  tak, aby bylo buzení motoru konstantní, jde o frekvenčně napěťové řízení.



Obr. 10: Frekvenční napěťové řízení s otevřenou smyčkou

## b) Oblast konstantního výkonu

V této oblasti platí, že  $f_1 > f_0$ ;  $I_1 = \text{konst.}$ ;  $U_i = U_1 = \text{konst.}$

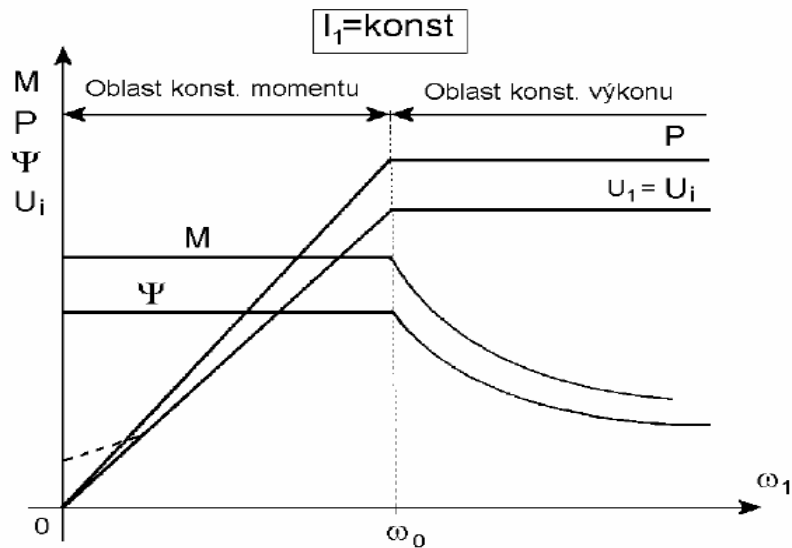
$U_i$  – indukované napětí

Závislosti, uvedené pro oblast konstantního momentu, platí až do frekvence  $f_0$ . Napětí lze zvyšovat pouze do určité míry, poté už je  $U_1 = \text{konst.}$  Při zvyšující se frekvenci je nutné, aby bylo indukované napětí konstantní, proto musíme snížit magnetický tok  $\Psi_1$ . Z toho vyplývá, že v této oblasti je konstantní pouze výkon, magnetický tok i moment se mění. Závislosti těchto veličin lze popsat následujícími rovnicemi. Rovnice (12) definuje velikost indukovaného napětí a magnetického toku. Rovnice (13) definuje velikost momentu a rovnice (14) velikost výkonu, který je konstantní.

$$U_i = U_1 = k \cdot \Psi_1 \cdot f_1 \longrightarrow \Psi_1 \approx \frac{1}{f_1} \quad (12)$$

$$M \approx \Psi_1 \cdot I_1 \longrightarrow M = \frac{1}{f_1} \quad (13)$$

$$P = U_1 \cdot I_1 = \text{konst.} \quad (14)$$

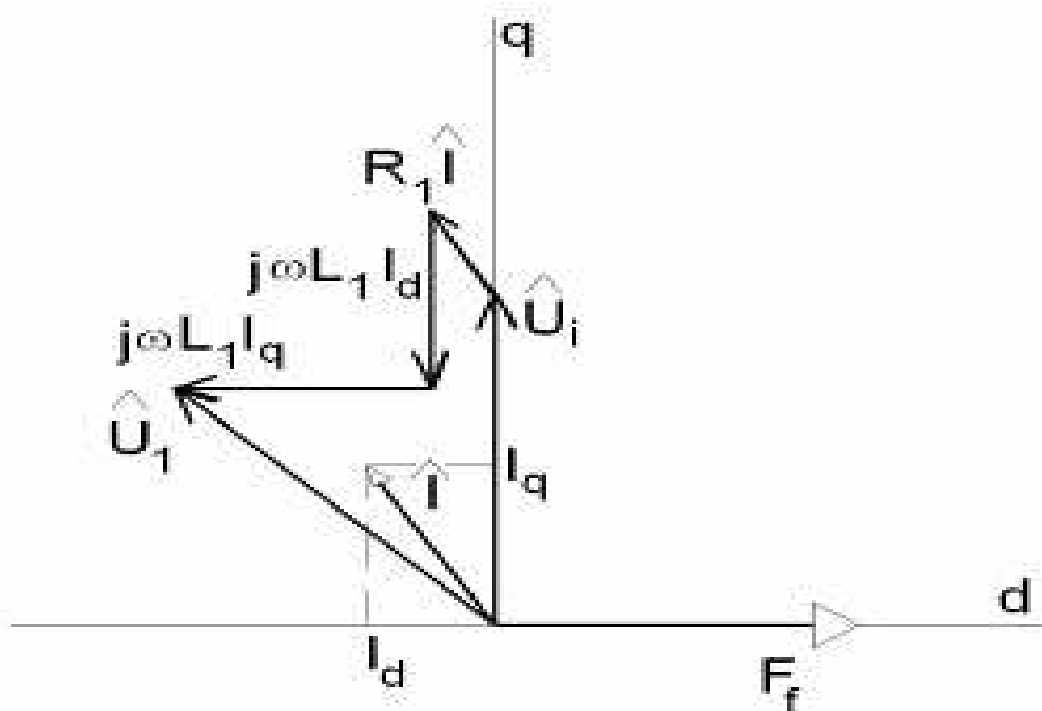


Obr. 11: Závislost charakteristických veličin na úhlové rychlosti

### 3.2 Vektorové řízení otáček střídavých motorů

#### a) Úvod

Základní podmínkou vektorového řízení střídavého motoru je oddělení regulačních obvodů pro moment a magnetický tok tak, aby se vzájemně neovlivňovaly. Regulačním obvodem momentu se nastavuje moment motoru, a tedy činný výkon, regulačním obvodem magnetického toku se realizuje výsledný magnetický tok stroje, a tedy jalový výkon. Princip vektorového řízení spočívá v rozložení prostorového vektoru statorového proudu do dvou kolmých složek v rotujícím souřadnicovém systému, který může být orientován na prostorový vektor statorového, nebo rotorového magnetického toku, případně na prostorový vektor výsledného magnetického toku. Složky prostorového vektoru statorového proudu  $I_d$  a  $I_q$  pak určují moment a magnetizaci stroje. Momentotvorná složka vektoru statorového proudu určuje, společně s příslušným vektorem magnetického toku, moment stroje. Magnetizační složka ležící ve směru vektoru magnetického toku ovlivňuje magnetizaci motoru.



Obr. 12: Fázorový diagram vektorového řízení



Metody pro regulaci momentu synchronních strojů vycházejí ze základního vzorce (12).

$$M = 1,5 \cdot P_p \cdot (F_d \cdot i_q - F_q \cdot i_d) \quad (12)$$

$F_d$  je složka magnetického toku v ose d,  $F_q$  je složka magnetického toku v ose q,  $i_d$  je složka proudu statoru v ose d,  $i_q$  je složka proudu statoru v ose q,  $P_p$  je počet pólových dvojic stroje. Při použití matematického modelu synchronního stroje lze rovnici upravit na následující vztah (13).

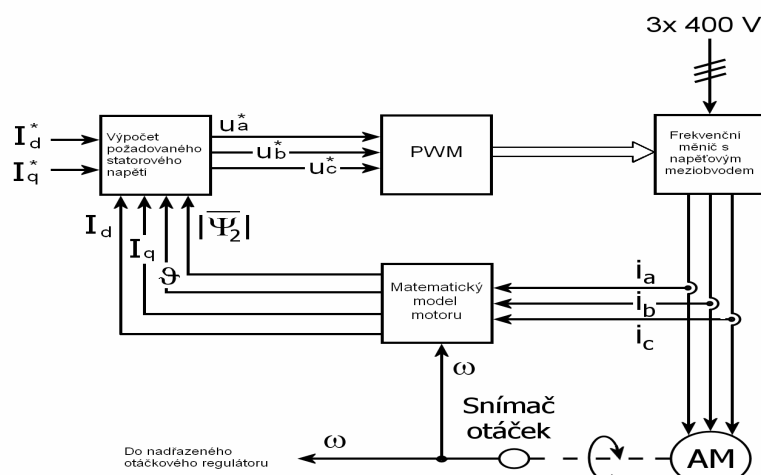
$$M = 1,5 \cdot P_p \cdot [(F_f + L_d \cdot i_d) \cdot i_q - L_q \cdot i_q \cdot i_d] = 1,5 \cdot P_p \cdot i_q \cdot [(F_f + L_d \cdot i_d) - L_q \cdot i_d] \quad (13)$$

$F_f$  je magnetický tok rotoru,  $L_d$  je podélná indukčnost statorového vinutí a  $L_q$  je příčná indukčnost statorového vinutí. Jestliže pracuje stroj s plným magnetickým tokem, je složka proudu statoru  $i_d$  nulová, a pro moment dostáváme vztah uvedený na dalším řádku (14).

$$M = 1,5 \cdot P_p \cdot F_f \cdot i_q \quad (14)$$

## b) Vlastnosti

Vektorové řízení využívá metodu nepřímého měření a řízení momentu a magnetického toku. Výpočet magnetického toku a momentu se provádí pomocí matematického modelu na základě jednoduše změřitelných technických veličin jako je statorový proud, napětí, a otáčky. Tento způsob řízení disponuje dobrými dynamickými vlastnostmi a přesností regulace pohonu. Na rozdíl od skalárního řízení, umožňuje optimální provoz i během přechodových jevů, jako je např. rozběh či brzdění.



Obr. 13: Blokové schéma vektorového řízení

### **3.3 Porovnání vektorového řízení otáček střídavých motorů a řízení skalárního**

#### **a) Skalární řízení otáček střídavých motorů**

##### Výhody

- jednoduché řízení otáček střídavých elektrických pohonů
- provoz s otevřenou smyčkou (není připojena zpětná vazba určující natočení motoru, pokud je třeba zvýšit přesnost regulace lze aplikovat uzavřenou smyčku)
- menší technická náročnost
- cena zařízení

##### Nevýhody

- optimální chod pouze v ustáleném stavu (mimo přechodové děje)
- menší dynamika pohonu

#### **b) Vektorové řízení otáček střídavých motorů**

##### Výhody

- vysoká dynamika pohonu
- přesné řízení a regulace
- umožňuje optimální chod i během přechodových jevů
- nedochází k přesycování magnetického obvodu, tím nedochází ke zvyšování ztrát, které snižují účinnost a zvyšují teplotu motoru.

##### Nevýhody

- cena (závisí na ceně signálových procesorů, jež jsou drahé)

## 4 Vybrané výtahové systémy

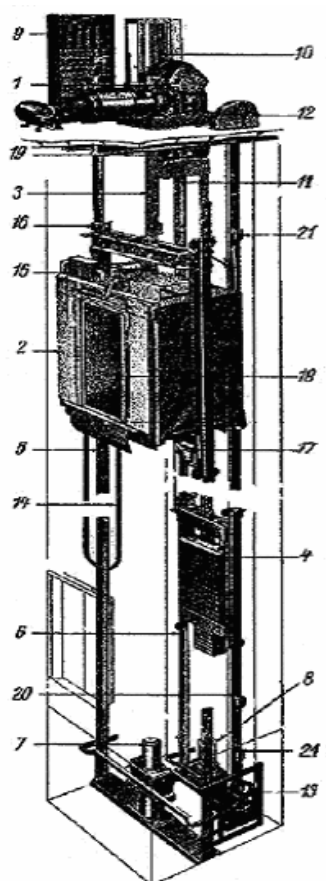
### 4.1 Výtahový systém s trakčním pohonem

#### a) Funkce trakčního pohonu

Výtah je poháněn strojem s hnacím lanovým kotoučem, který pomocí tření lan a zavěšené protiváhy posouvá kabinu vybraným směrem ve výtahové šachtě.

#### b) Části trakčního výtahového systému

Výtahový systém se skládá z mnoha částí, jak mechanických, tak elektrických. Jsou znázorněny na následujícím obrázku.



- 1 – výtahový stroj
- 2 – klec výtahu
- 3 – nosná lana
- 4 – vyvažovací závaží
- 5 – vodítko klece
- 6 – vodítko vyvažovacího závaží
- 7 – nárazník klece
- 8 – nárazník vyvažovacího závaží
- 9 – rozvaděč
- 10 – ovládací přístroj
- 11 – hnací planžeta ovládacího přístroje
- 12 – omezovač rychlosti
- 13 – napínací kladka omezovače rychlosti
- 14 – výtahová šňůra
- 15 – pohon samočinných dveří
- 16 – valivý vodič klece
- 17 – zachycovač klece
- 18 – ochranná lišta kabinových dveří
- 19 – vodící kladka
- 20 – zpomalovací spínač
- 21 – koncový vypínač

Obr. 14: Trakční výtahový systém a jeho součásti

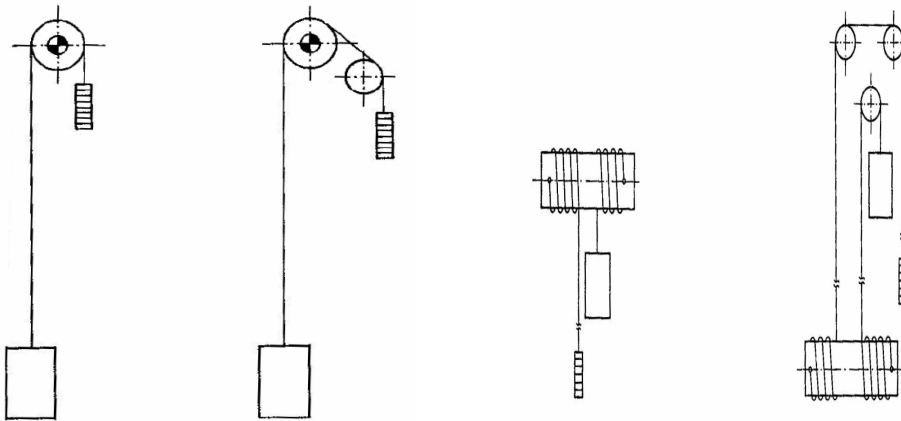
## 4.2 Výtahový systém s bubnovým pohonem

### a) Funkce bubnového pohonu

Výtahový stroj má místo lanového kotouče navíjecí buben, který na sebe při pohybu nahoru navíjí nosné lano a při pohybu dolů ho opět odmotává.

### b) Části bubnového výtahového systému

Části bubnového výtahu jsou shodné s trakčním, liší se pouze ve způsobu posuvu kabiny, z čehož vyplývá, že bubnový výtah má místo lanového kotouče buben, na který se lano navíjí a protiváha je připevněna jiným způsobem, než u výtahu trakčního (viz. Obr. 14). U bubnového výtahu se většinou protiváha ani nevyužívá.



Obr. 15: Zavěšení protiváhy trakčního (oba levé) a bubnového pohonu (oba pravé)

## 4.1 Výtahové stroje

### a) Úvod

Výtahový stroj je zdvihací ústrojí výtahu. Je ve většině případů umístěn ve strojovně společně s dalšími součástmi výtahu např. rozvaděčem, hlavním vypínačem atd. Strojovna bývá

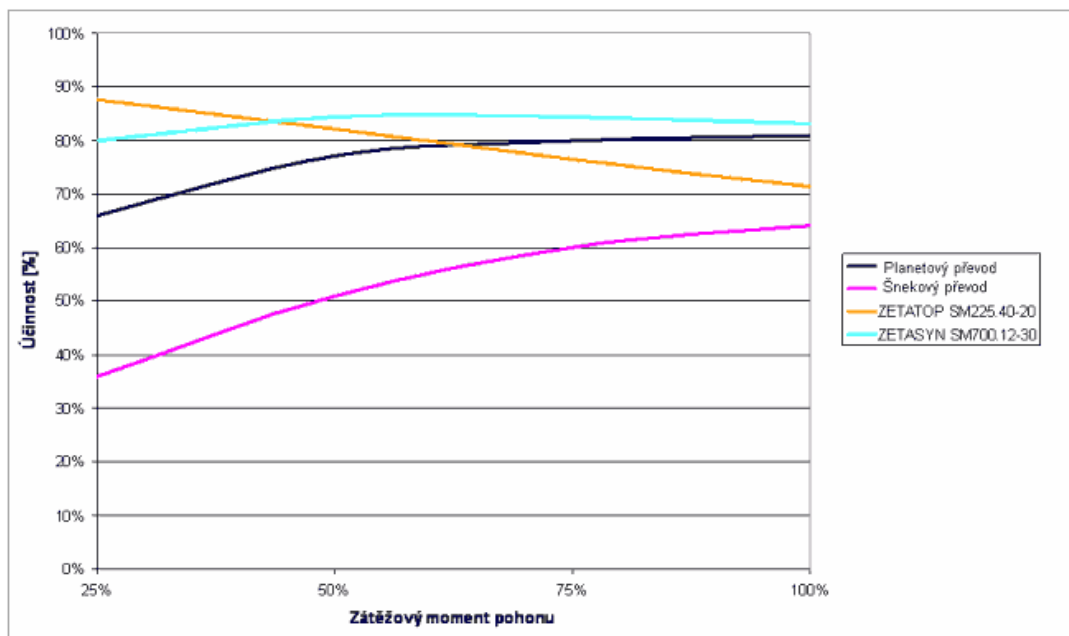
umístěna v horní nebo dolní poloze (střecha, sklep). Výtahových strojů je několik druhů, ale lze je rozdělit na dva základní typy, a to na převodové a bezpřevodové.

### b) Převodové výtahové stroje

Tyto stroje jsou vybaveny většinou střídavým asynchronním elektromotorem, mechanickou brzdou, jenž slouží pro zajištění motoru, pokud výtah stojí, nebo v případě nevyužití frekvenčního řízení otáček i k jeho brždění. Dalším komponentem je převodové ústrojí a rám, na kterém je motor umístěn. Převodový stroj má větší účinnost pokud je plně zatížen, což u výtahu většinou nebývá realitou. Na grafu 1. je přehled účinnosti některých druhů strojů v závislosti na zatížení (zátěžový moment).

### c) Bepřevodové výtahové stroje

Tyto stroje neobsahují převodovku, což je oproti převodovým strojům zmenšuje a zároveň se snižuje náročnost údržby, která spočívá ve výměně olejové náplně převodové skříně. Jejich účinnost oproti převodovým strojům v závislosti na zatíženosti je zřejmá z grafu 1.



Graf 1. Křivky účinnosti různých trakčních pohonů

Na grafu jsou vidět křivky dvou převodových strojů s asynchronními motory s různými typy převodovek a dvou bezpřevodových strojů se synchronními motory ZETATOP (výrobce: Ziehl-Abbeg). Křivky ukazují, jak se mění účinnost strojů v závislosti na zvyšující se zátěži. Jak již bylo řečeno, účinnost převodových strojů se zvyšující se zátěží roste, u některých typů strojů až o 30%. Naopak u bezpřevodových strojů ZETATOP SM225 40-20 účinnost se zatížením klesá. U druhého bezpřevodového stroje je charakteristika téměř konstantní. Vzhledem k účinnosti je pro výtahovou techniku vhodnější využít bezpřevodové synchronní motory, neboť je z praxe známo, že výtah není většinou plně zatížen.



*Obr. 16: Převodový (vlevo) a bezpřevodový výtahový stroj (vpravo)*

## **II. Praktická část**

### **5 Zhodnocení výtahových systémů**

#### **5.1 Obecné zdůvodnění modernizací**

##### **a) Úvod**

Bytová výstavba do roku 1990 byla osazována výtahy domácí produkce. Jednalo se převážně o výtahy trakční a bubnové o nosnosti 250, 320 a 500 Kg, umístěných ve zděných, pletivových či drátoskleněných šachtách se strojovny v půdních prostorech, nebo na střeše. Pouze v menším množství se používaly výtahy se stroji s kinematicky vázaným pohonem (výtahy bubnové). U

těchto výtahů byla strojovna umístěna v dolní části šachty, nebo vedle ní v její těsné blízkosti. Tyto výtahy měly, oproti výtahům trakčním, výhodu v levnější výstavbě a montáži. U těchto výtahů odpadly náklady spojené s pořízováním vodiček protiváhy, konstrukcí strojovny a protiváhou samotnou. Hlavní nevýhodou bubnových výtahů byly náročnější výtahové stroje s vyšším elektrickým příkonem. Toto je dáno nutností vyvinout pro stejnou nosnost výtahu bubnového 2x větší moment, než u výtahu trakčního. Od tohoto se také odvíjí náklady na silnější jištění a průřezy přírodních vodičů. Po roce 1990 postupně docházelo k modernizaci, nebo výměně stávajících výtahů, tak aby odpovídaly stále se zpřísňujícím normám pro podstatné úpravy, montáž a uvedení výtahu do provozu.

## **b) Normy**

Z hlediska norem pro výrobu, montáž a provoz výtahu rozlišujeme několik období. Období první je do roku 2003, což je doba před vstupem České Republiky do Evropské unie. Po vstupu do Evropské unie dochází v letech 2003 – 2009 k harmonizaci českých norem na evropský standard. V roce 2009 vstupují harmonizované normy v platnost. V nynější době je u nás v provozu cca 87000 výtahů pro dopravu osob a nákladu, z toho 37000 výtahů odpovídá harmonizovaným normám a 50000 vykazuje některé z bezpečnostních rizik. Ty nejzávažnější jsou uvedeny v tabulce 1. U některých výtahů jsou i rizika, která přímo ohrožují zdraví pasažérů. Mimo rizika uvedené v tabulce 1, existují ještě další dva stupně obsahující méně nebezpečné závady.

Pro jednotlivé stupně těchto rizik byly dle jejich závažnosti stanoveny lhůty k jejich odstranění. Odstranění bezpečnostních rizik sebou přináší většinou rekonstrukci a modernizaci výtahu, která je prováděna dle platných norem a to vede k odstranění předchozích bezpečnostních rizik.

Číslo podle ČSN EN 81-80	Provozní rizika
3	Systém pohonu se špatnou přesností zastavování
17	Chybějící nebo nedostatečné osvětlení šachty
23	Nedostatečné osvětlení ve strojovně nebo v prostoru pro kladky
25	Šachetní a klecové dveře z perforovaného materiálu
31	Nebezpečné zajišťovací zařízení u šachetních dveří
32	Odjišťování šachetních dveří bez zvláštního nástroje
33	Ohrazení šachty perforovanou stěnou v blízkosti dveřní uzávěrky
39	Neodpovídající délka prahové desky
40	Klec bez dveří
70	Chybějící nebo nevyhovující ovladačová kombinace revizní jízdy a zastavovací zařízení na střeše klece
71	Chybějící nebo nevyhovující zařízení pro nouzovou signalizaci

*Tab. 1 Přehled nejzávažnějších provozních rizik prioritní úrovně I. a odpovídající nápravná opatření*

## **5.2 Důvody využití frekvenčního řízení otáček motoru**

### **a) Úvod**

Jedním z podstatných rizik, se kterým se můžete setkat a je již na pohled zřejmé, je v tabulce 1 pod bodem 3. Je to přesnost dojezdu do stanice. V praxi to znamená, že výtah není schopen zastavit přesně na úrovni patra. Toto je dáno vlivem setrvačnosti kabiny. Pokud je kabina zatížena a výtah zastaví ve stanici, může být mezi prahem kabiny a podlahou v patře rozdíl i několik centimetrů. To se může vyskytnout v obou směrech, buď kabina nedojede, nebo naopak stanici přejede. Tento jev je viditelný pouze u výtahů, kde není pohon regulován, a je bržděn pouze mechanickou brzdou. Při zabrždění výtahu ve stanici dochází k prokluzu brzdícího kotouče mechanické brzdy mezi zabržděnými čelistmi, což způsobuje nepřesnost při zastavení kabiny. Také přímé spouštění výtahového stroje připojením elektrické energie má vliv na tyto nepřesnosti, protože je výtah uváděn do pohybu z nulové rychlosti skokem přímo na rychlost maximální (0,6 – 1 m/s). U takto fungujících výtahů dochází k opotřebení brzdového obložení. Tím se postupem času nepřesnosti zvětšují. K odstranění tohoto bezpečnostního rizika se v praxi využívá frekvenčního řízení pohonu.



## b) Výhody frekvenčního řízení otáček motoru

Pro řízení rozjezdu a dojezdu motorů včetně řízení otáček se do výtahových rozvaděčů umísťuje zařízení zvané frekvenční měnič. Použitím frekvenčního měniče dochází k plynulým rozjezdům i dojezdům. Rychlost se mění plynule z nulové rychlosti na rychlost jmenovitou a ze jmenovité na nulovou ve stanoveném čase. Frekvenční měniče umožňují využití maximálního momentu výtahového stroje již při malé rychlosti, a tím plynulý rozjezd prázdného i plně obsazeného výtahu.



*Obr. 17: Frekvenční měnič*

## 5.3 Řízení výtahu

Pro řízení výtahu se používají rozvaděče osazené řídicími mikroprocesorovými automaty a frekvenčními měniči. Automat dostává informace o požadavku na směr jízdy buď z kabiny, nebo z vnějšku pomocí ovládacích prvků (tablo uvnitř kabiny a přivolávače vně výtahové šachty). Polohu kabiny sledují snímače, které jsou na ní umístěny. Existuje několik principů, ale nejčastěji se užívají magnetické monostabilní či bistabilní snímače. Tyto snímače reagují na magnety rozmístěné po šachtě a tím zná automat polohu kabiny a dokáže vyhodnotit, jaké informace má předat frekvenčnímu měniči. Frekvenční měnič poté dle povelů od automatu reguluje otáčky pohonu. Automat dává měniči povely o směru a rychlosti otáčení.

Při tomto řízení se výtah rozjíždí a dojíždí plynule a zastavuje již při nulových otáčkách, což je velkou výhodou oproti dřívějším způsobům rozběhu motoru. Výhoda spočívá v postupném zvyšování (snižování) záběrového proudu. Dříve se připojoval motor přímo na plné napětí, to mělo za následek větší namáhání motorových stykačů. Docházelo k přeskokování oblouku, většímu elektromagnetickému rušení, opotřebením kontaktů atd. Mimo jiné bylo nutné tyto stykače předimenzovat, aby se zvýšila jejich mechanická životnost. Při zařazení tohoto řízení dále odpadá mechanické brždění motoru. Mechanická brzda na strojích slouží pouze jako parkovací brzda, pokud stojí výtah ve stanici.

## **5.4 Úspora energie**

Při rekonstrukcích a modernizacích většina provozovatelů výtahů požaduje nejen odstranění bezpečnostních rizik, ale i nějakou přidanou hodnotu. Při výměně elektrovýzbroje výtahu (výměna stroje, ovládací prvky, řídicí jednotka atd.), která odstraní bezpečnostní rizika, je proto nutné tuto přidanou hodnotu vytvořit. Jednou z nich je komfort přepravy spojený především s plynulými rozjezdy, moderním vzhledem interiéru kabiny a snadným ovládáním. Je zde však jeden neviditelný parametr, ale proto není méně důležitý, a to je energetická náročnost výtahového stroje.

Při zadávání zakázek na rekonstrukci a modernizaci výtahů provozovateli, jako jsou bytová družstva, městské části apod., jsou zpravidla vypisována výběrová řízení. Při těchto řízeních je nutné nejen ukázat, že lze odstranit bezpečnostní rizika, ale také nabídnout přidanou hodnotu. V těchto případech to je úspora nákladů na provoz výtahu vhodnou volbou výtahového stroje. Tento požadavek nelze v současné době, kdy se hledí na úspory nejen z ekonomického, ale i ekologického hlediska, přehlížet. Vhodnou volbou výtahového stroje a řízení můžeme nejen snížit spotřebu elektrické energie, ale lze také ušetřit na některých komponentech a u některých zvýšit životnost.

## **5.5 Praktické poznatky o testovaných výtahových strojích**

### **a) Převodový výtahový stroj**

- Osazen asynchronním motorem
- Převodovky obvykle 1:40
- Nutná olejová náplň převodovky
- Osazen bubnovou brzdou
- Většinou umístěn ve strojovně
- Musí mít protiváhu
- Náročnější servis – výměna oleje, opotřebené převodovky, opotřebené spojky, opotřebené brzdové obložení, nutnost seřizování brzd
- Vyšší příkon oproti synchronním motorům
- U těchto strojů se nejvíce projevilo využití frekvenčního řízení otáček - došlo ke snížení všech mechanických opotřebení (spojka, brzda, lana, lanovnice, převodovka), snížila se velikost jmenovitých proudů používaných motorových stykačů

### **b) Výtahový stroj s kinematicky vázaným pohonem**

- Osazen asynchronními motory
- Zdvih omezen velikostí bubnu
- Mohutná konstrukce
- Nutná olejová náplň převodovky
- Vysoká energetická náročnost
- Může být bez protiváhy
- Montáž v domech bez strojovny

### **c) Bezpřevodový výtahový stroj**

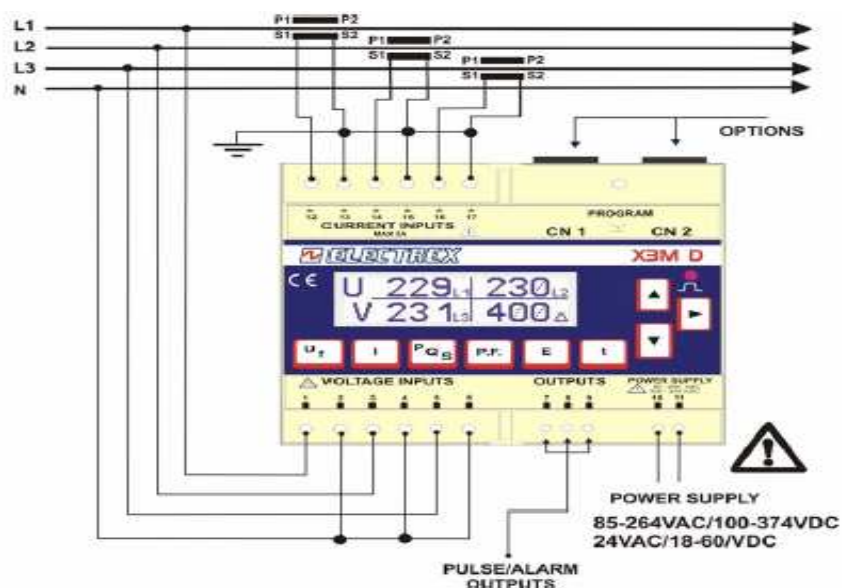
- Provedení – synchronní motor s lanovnicí přímo na rotoru
- Malé rozměry
- Nízká energetická náročnost

- Výborná regulovatelnost
- Vzhledem k šířce lanovnice nutnost užití tenčích lan – nutnost použití více lan
- Problémy s ručním vytáčením (při poruše či výpadku el. energie)

## 6 Měření energetické náročnosti výtahových strojů

### 6.1 Použité měřicí přístroje a zapojení měřícího pracoviště

Pro měření odebíraného výkonu byl použit programovatelný analyzátor Electrex X3M, který je schopen pomocí převodních transformátorů změřit hodnoty odebíraného výkonu a uložit je do jeho paměti. Umožňuje také sledovat hodnoty frekvence, napětí, jalového, zdánlivého a činného výkonu a odebíraného proudu. Připojení analyzátoru pro měření veličin na trojfázovém rozvodu je uveden na obrázku pod textem.



Obr. 18 Zapojení analyzátoru Electrex X3M při měření veličin v trojfázovém rozvodu  
(použito z uživatelského manuálu)

Měření odebraného výkonu bylo provedeno dle zapojení na předchozím obrázku, při němž byl měřicí systém byl připojen mezi rozvaděč a motor, aby měřenou spotřebu výtahového stroje neovlivňovaly další spotřebiče (osvětlení, řídicí jednotka, atd.) a naměřená hodnota odpovídala přímo spotřebě stroje.

## **6.2 Postup při měření**

### **a) Krátkodobé jednorázové měření spotřeby pro definovanou zátěž kabiny a definovaný počet jízd.**

Tento způsob měření slouží pro zjištění konkrétního odběru stroje. Nejprve na jednu jízdu s nejvyšším zdvihem (ze spodní do horní stanice) a posléze odběru při předdefinovaném počtu jízd a to vše s definovaným zatížením kabiny. Do těchto jízd jsou zahrnuty jak jízdy nahoru, tak jízdy dolů.

Měření bylo provedeno na reálných výtazích se srovnatelnými parametry (maximální zdvih, nosnost výtahu). Konkrétně to byly výtahy v domech se sedmi patry, délkou patra 3 m a nosností 320 kg, což odpovídá běžnému osobnímu výtahu pro 4 osoby, umístěvaném v panelových domech.

Pro měření byly použity tyto hodnoty zatížení kabiny:

0 kg – odpovídá nezatížené kabině, stroj zdvihá pouze váhu kabiny

80 kg – odpovídá jedné osobě

160 kg - odpovídá dvěma osobám

260 kg – odpovídá třem osobám

320 kg – odpovídá čtyřem osobám, plně obsazená kabina

Kabina byla zatěžována pomocí litinových závaží, každé o hmotnosti cca. 25 kg. Přesná váha celkového zatížení byla ověřována pomocí tenzometrického vážení, které je součástí výtahu. S každou vahou kabiny byla provedena nejprve jedna jízda z dolní do horní stanice a výsledný odběr energie byl zaznamenán. Poté se provedl definovaný počet jízd (nahoru+dolů) pro zjištění

odběru při tomto počtu jízd. Všechny tyto údaje byly zaznamenány pro porovnání s ostatními výsledky.

#### **b) Dlouhodobé měření spotřeby v reálném provozu**

Toto měření ukazuje skutečný odběr stroje při reálném provozu výtahu. Při tomto provozu nejsou předdefinované hmotnosti, zdvih či počet jízd. Měření slouží pro porovnání výsledků z předešlého měření a ověřuje jejich využitelnosti v praxi.

Měření bylo provedeno na stejných výtazích jako v předchozím bodě. Měřicí systém byl připojen také stejným způsobem (viz. Obr. 18), pouze průběh měření se lišil. Měření probíhalo následovně. Měřicí systém byl připojen k výtahovému stroji po dobu 14 dní. Po tuto dobu se měřila spotřeba při běžném provozu. Po této době byly z měřicího systému zjištěny naměřené hodnoty odebrané elektrické energie. Z řídicí jednotky výtahu byly vyčteny a zaznamenány počty jízd. Nejprve celkový počet jízd, který ukazuje četnost využití výtahu. Posléze byly vyčteny počty jízd s pasažérem ( nedefinovaná zátěž od 20 kg do 320 kg ) a bez něj ( definovaná zátěž 0 kg ). Dále byly vyčteny počty jízd s pasažérem i bez pasažéra do jednotlivých stanic. Toto vše bylo zaznamenáno pro následující rozbor.

### **6.3 Naměřené výsledky odběru energie konkrétních výtahových strojů užitých v reálném provozu**

#### **a) Bubnový převodový stroj**

##### **Technické údaje:**

##### **Výtah**

Umístění výtahu: Husova 1689 Pardubice

Interval měření: 30.11 2010 (14:00) – 14.12 2010 (14:00)

Typ výtahu: BOV320/7 (bubnový osobní výtah se sedmi stanicemi)

##### **Stroj**

Typ: Siemens 1LA7134 (asynchronní)

Výrobní číslo: 331573000

Štítkové údaje: (P- jmenovitý výkon, I - jmenovitý proud, U - jmenovité napětí,  $\cos \varphi$  - účinník)

$P = 5,5 \text{ kW}$

$I = 12,6 \text{ A}$

$U = 3 \times 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$

$\cos \varphi = 0,76$

Jmenovité otáčky: 950 ot/min

##### **Rozvaděč**

Typ: VRL07/FM-7,5 kW (výtahový rozvaděč lanový pro 7 stanic s frekvenčním řízením)

Výrobní číslo: L21932

Zatížení [kg]	Počet jízd	Zdvih [m]	P <sub>1</sub> [kW.h]	P <sub>x</sub> [kW.h]
0	50	3x7	0,04	1,43
80	50	3x7	0,04	1,57
160	50	3x7	0,04	1,82
260	50	3x7	0,05	2,39
320	50	3x7	0,05	2,65

*Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie bubnového převodového stroje*

P<sub>1</sub> - Spotřeba energie na 1 jízdu při max. zdvihu

P<sub>x</sub> – Celková spotřeba (při počtu 25 jízd ve směru nahoru a 25 jízd ve směru dolů)

Patro	Pas.	Při.
1.	507	263
2.	13	19
3.	40	19
4.	61	25
5.	179	109
6.	160	119
7.	160	114
Σ	1120	658

*Tab. 3 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření spotřeby energie u BOV*

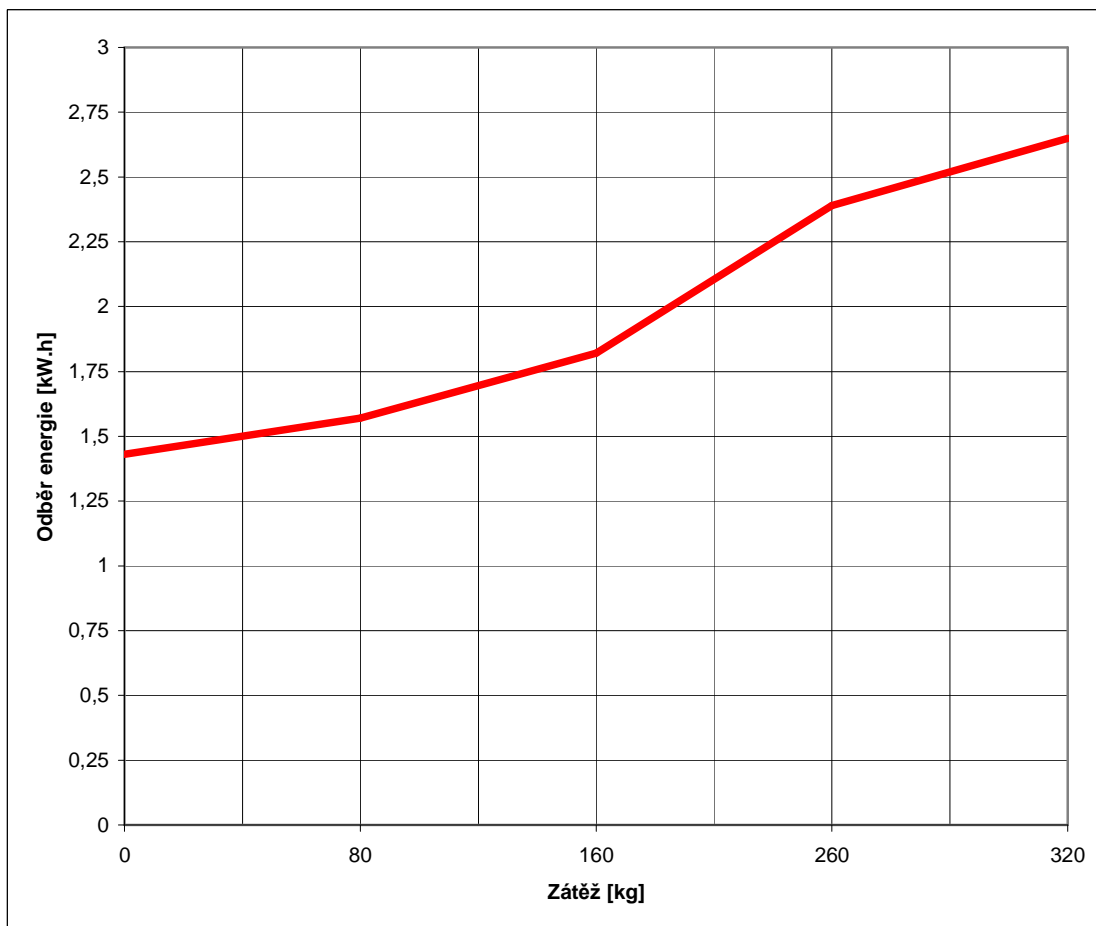
Pas. – Počet jízd s pasažérem. Tento údaj udává, kolik jízd vykonal výtah se zatíženou kabinou.

Při. – Počet jízd na přivolání z vnějšku kabiny. Tento údaj udává počet jízd s nezatíženou kabinou.

Celkový počet jízd, což je suma jízd se zatíženou i nezatíženou kabinou za dobu 14 dní je v tomto případě **1778** jízd při spotřebě **25,99 kW.h**.

Výsledek slouží pro názorný příklad spotřeby výtahu při určitém počtu jízd. Vzhledem k podobnosti objektů, ve kterých byla provedena všechna měření, bude posléze možné porovnat výsledky. Počty jízd do daných stanic slouží pouze jako přibližné měřítko pro možnost porovnání. Vzhledem k předpokladu, že měřené odběry budou dosti rozdílné, lze toto jako měřítko využít.





*Graf 2: Spotřeba energie bubnového převodového stroje.*

**Popis grafu:** V grafu nad textem je vynesena závislost spotřeby elektrické energie bubnového výtahového stroje v závislosti na zatížení kabiny. Z grafu je zřejmé, že se zvyšující se zátěží roste spotřeba. Na grafu je také vidět několik zlomů. Ty jsou dány nedostatečným počtem měření při různých zátěžích. Tento jev je vidět i na dalších grafech. Nebylo možné provést větší množství měření, jelikož zobrazovací schopnost analyzátoru je omezena pouze na 3 desetinná místa, a proto by neměl větší počet měření praktický význam, neboť by nebyly vidět rozdíly při větším počtu měření. Z tohoto důvodu byly zátěže přizpůsobeny běžnému zatížení výtahů různým počtem osob (viz. str. 37). Při zkoumání grafu jsem došel k závěru, že v intervalu od 160 do 260 kg dochází k nejprudšímu nárůstu odběru. Z teoretického hlediska znamená, že pro nejefektivnější provoz tohoto stroje je vhodné využívat jej mimo tento interval. Z praktického hlediska je toto nemožné, protože to není možné v běžném provozu ovlivnit.

## b) Bezpřevodový synchronní stroj

### Technické údaje:

#### Výtah

Umístění výtahu: Erno Košťála 968 Pardubice

Interval měření: 21.1 2011 (14:00) – 4.1 2011 (14:00)

Typ výtahu: TOV320/7 (trakční osobní výtah se sedmi stanicemi)

#### Stroj

Typ: GETM 3.0F-100/0400-1S13 (synchronní)

Výrobní číslo: 1005692

Štítkové údaje:(P- jmenovitý výkon, I – jmenovitý proud, U – jmenovité napětí,  $\cos \varphi$  – účinník)

$P = 2,6 \text{ kW}$

$I = 6,7 \text{ A}$

$U = 3 \times 340 \text{ V} / 50\text{Hz}$

$\cos \varphi = --$

Počet pólů: 24

Jmenovité otáčky: 48 ot/min

Enkodér: EnDat ecn 1313

#### Rozvaděč

Typ: VRL07/FM-3,5 kW (výtahový rozvaděč lanový pro 7 stanic s frekvenčním řízením)

Výrobní číslo: L72057

Zatížení [kg]	Počet jízd	Zdvih [m]	P <sub>1</sub> [kW.h]	P <sub>x</sub> [kW.h]
0	50	3x7	0,01	0,035
80	50	3x7	0,012	0,47
160	50	3x7	0,015	0,48
260	50	3x7	0,016	0,51
320	50	3x7	0,022	1,05

*Tab. 4 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie bezpřevodového synchronního stroje.*

P<sub>1</sub> - Spotřeba energie na 1 jízdu při max. zdvihu

P<sub>x</sub> – Celková spotřeba (při počtu 25 jízd ve směru nahoru a 25 jízd ve směru dolů)

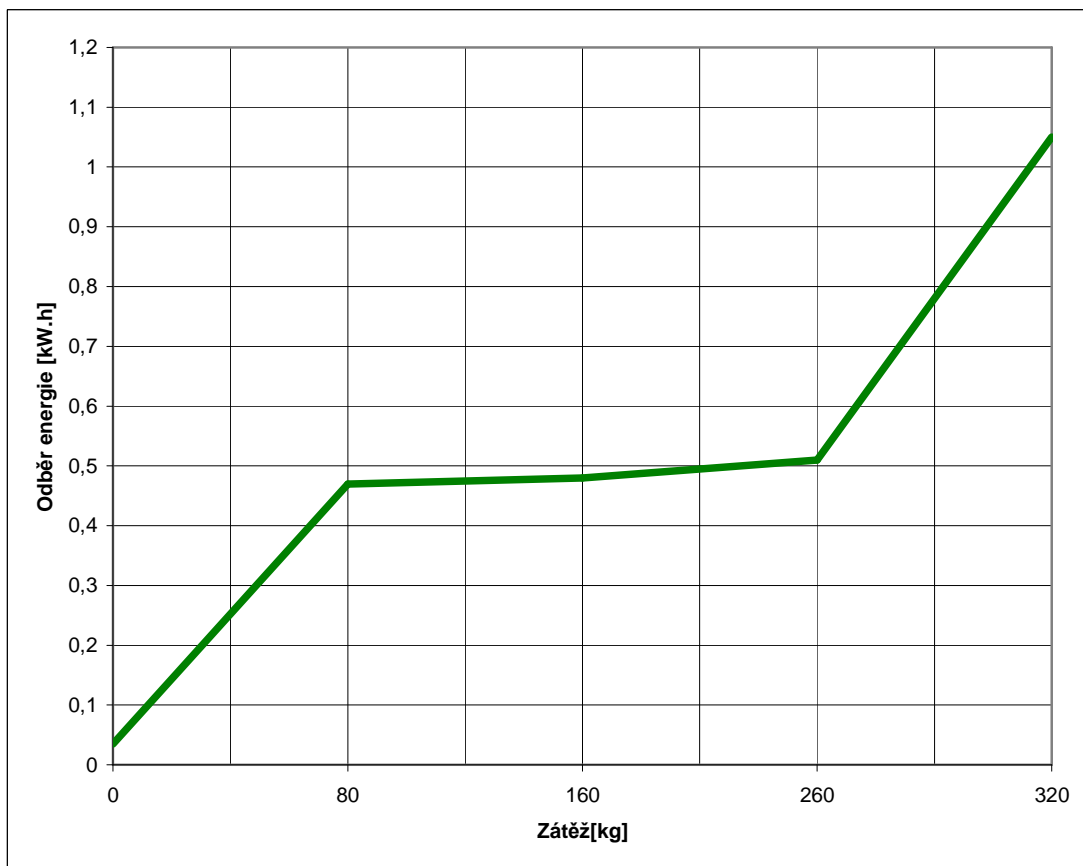
Patro	Pas.	Při.
1.	766	352
2.	0	0
3.	36	4
4.	135	106
5.	311	213
6.	205	154
7.	155	127
Σ	1607	955

*Tab. 5 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření spotřeby energie u bezpřevodového synchronního stroje.*

Pas. – Počet jízd s pasažérem. Tento údaj udává, kolik jízd vykonal výtah se zatíženou kabinou.

Při. – Počet jízd na přivolání z vnějšku kabiny. Tento údaj udává počet jízd s nezatíženou kabinou.

Celkový počet jízd, což je suma jízd se zatíženou i nezatíženou kabinou za dobu 14 dní, je v tomto případě **2562** jízd při spotřebě **6,51 kW.h**



*Graf 3. Spotřeba energie bezpřevodového synchronního stroje.*

**Popis grafu:** V grafu nad textem je vynesena závislost spotřeby elektrické energie bezpřevodového synchronního výtahového stroje v závislosti na zatížení kabiny. Při zkoumání grafu jsem došel k závěru, že nejmenší změna odběru je v intervalu od 80 do 260 kg. Při tomto zatížení bude stroj využíván nejefektivněji. Naopak v oblasti mimo tento interval dochází k rapidnímu nárůstu odběru. Je to dáno užitím trakčního systému, jenž má nejmenší odběr pokud je vyvážen. K tomuto dochází v oblasti kdy se zátěž blíží polovině nosnosti výtahu. Rozptyl hodnot je zde přibližně stejný jako u grafu č. 2, to znamená, že stroje reagují na zatížení přibližně stejně velkou změnou odběru, pouze v jiné hladině. Z praktického hlediska je tato zatěžovací křivka poměrně vhodná. Vzhledem k tomu, že v intervalu 80-260 kg pracuje stroj s minimální změnou odběru v poměrně velkém rozsahu zátěží. Tyto zátěže odpovídají 1-3 osobám, což je u tohoto typu výtahu nejběžněji přepravovaná zátěž.

### c) Převodový výtahový stroj s frekvenčním řízením otáček

#### Technické údaje:

#### Výtah

Umístění výtahu: Erno Košťála 957 Pardubice

Interval měření: 22.12 2010 (14:00) – 5.1 2011 (14:00)

Typ výtahu: TOV320/7 (trakční osobní výtah se sedmi stanicemi)

#### Stroj

Typ: SASI - LEO (asynchronní)

Výrobní číslo: 09A08270/6

Štítkové údaje:(P- jmenovitý výkon, I – jmenovitý proud, U – jmenovité napětí,  $\cos \varphi$  – účinník)

$P = 3,3 \text{ kW}$

$I = 8 \text{ A}$

$U = 3 \times 230 \text{ V} / 50\text{Hz}$

$\cos \varphi = 0,84$

Jmenovité otáčky: 950 ot/min

#### Rozvaděč

Typ: VRL07/FM-5,5 kW (výtahový rozvaděč lanový pro 7 stanic s frekvenčním řízením)

Výrobní číslo: L31934

Zatížení [kg]	Počet jízd	Zdvih [m]	P <sub>1</sub> [kW.h]	P <sub>x</sub> [kW.h]
0	50	3x7	0,01	0,5
80	50	3x7	0,013	0,61
160	50	3x7	0,014	0,73
260	50	3x7	0,022	0,92
320	50	3x7	0,026	1,18

*Tab. 6 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie u převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením*

P<sub>1</sub> - Spotřeba energie na 1 jízdou při max. zdvihu

P<sub>x</sub> – Celková spotřeba (při počtu 50 jízd ve směru nahoru a 50 jízd ve směru dolů)

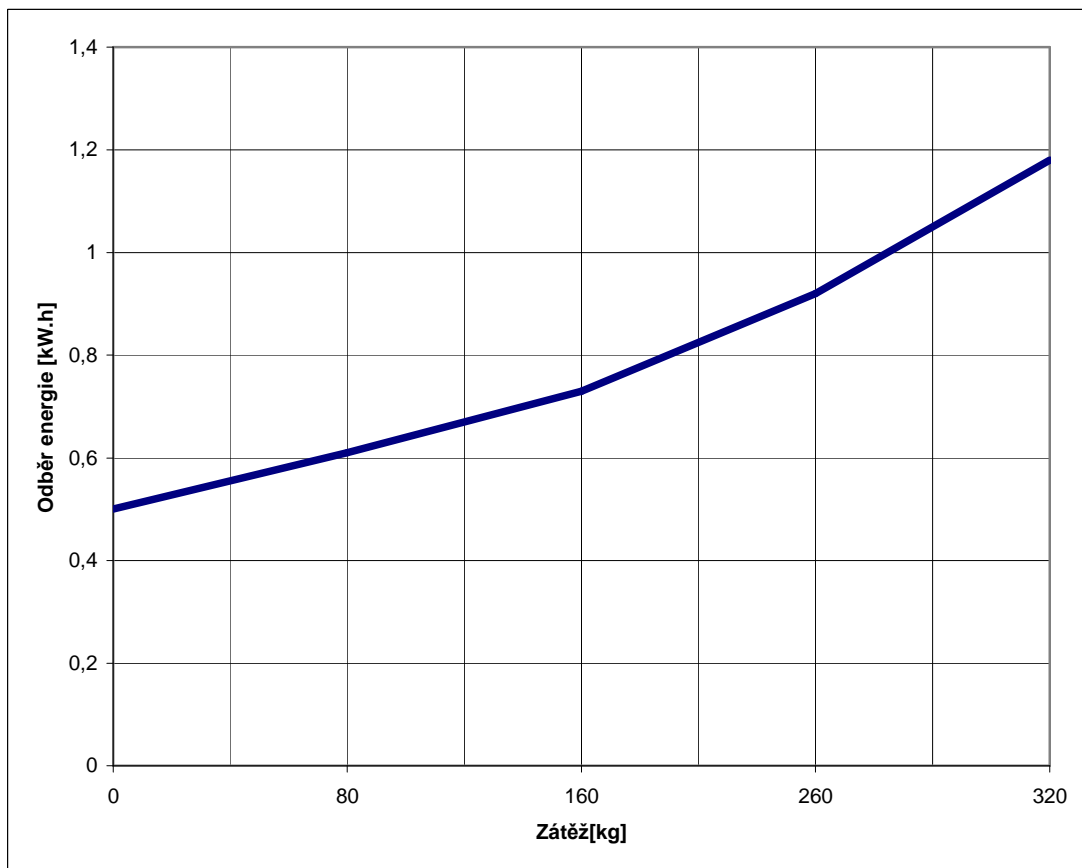
Patro	Pas.	Při.
1.	520	222
2.	31	27
3.	122	47
4.	138	70
5.	135	75
6.	117	41
7.	143	102
Σ	1205	584

*Tab. 7 Počet jízd do určitých stanic při dlouhodobém měření spotřeby energie u převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením*

Pas. – Počet jízd s pasažérem. Tento údaj udává, kolik jízd vykonal výtah se zatíženou kabinou.

Při. – Počet jízd na přivolání z vnějšku kabiny. Tento údaj udává počet jízd s nezatíženou kabinou.

Celkový počet jízd, což je suma jízd se zatíženou i nezatíženou kabinou za dobu 14 dní je v tomto případě **1789** jízd při spotřebě **10,45 kW.h**



*Graf 4. Spotřeba energie převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením*

**Popis grafu:** V grafu nad textem je vynesena závislost spotřeby elektrické energie převodového výtahového stroje s frekvenčním řízením otáček v závislosti na zatížení kabiny. Z grafu je možno zjistit, že u tohoto typu stroje roste odběr elektrické energie téměř lineárně se zvyšující se zátěží. Z toho se dá usoudit, že odběr roste ve všech intervalech skoro se stejnou strmostí. Z toho vyplývá, že není důležité, jakou zátěž stroj zvedá, protože se odběr zvyšuje úměrně se zátěží. Proto ho lze využít pro všechny zátěže stejně efektivně.

## **d) Jednorychlostní výtahový stroj**

### **Technické údaje:**

#### **Výtah**

Umístění výtahu: K rozvodně 91 Pardubice

Interval měření: 20.4 2011 (14:00) – 4.5 2011 (14:00)

Typ výtahu: TOV320/9 (trakční osobní výtah s devíti stanicemi)

#### **Stroj**

Typ: 1VM0a / 6 (asynchronní)

Výrobní číslo: 805700

Štítkové údaje:(P- jmenovitý výkon, I – jmenovitý proud, U – jmenovité napětí,  $\cos \varphi$  – účinník)

$P = 5,5 \text{ kW}$

$I = 7,4/13 \text{ A}$

$U = 3 \times 230 \text{ V} / 50\text{Hz}$

$\cos \varphi = 0,66$

Jmenovité otáčky: 950 ot/min

#### **Rozvaděč**

Typ:VRL09/1 (výtahový rozvaděč lanový jednorychlostní pro 9 stanic)

Výrobní číslo: B601120



Zatížení [kg]	Počet jízd	Zdvih [m]	P <sub>1</sub> [kW.h]	P <sub>x</sub> [kW.h]
0	50	3x7	0,011	1,142
80	50	3x7	0,017	1,213
160	50	3x7	0,021	1,285
260	50	3x7	0,029	1,377
320	50	3x7	0,043	1,521

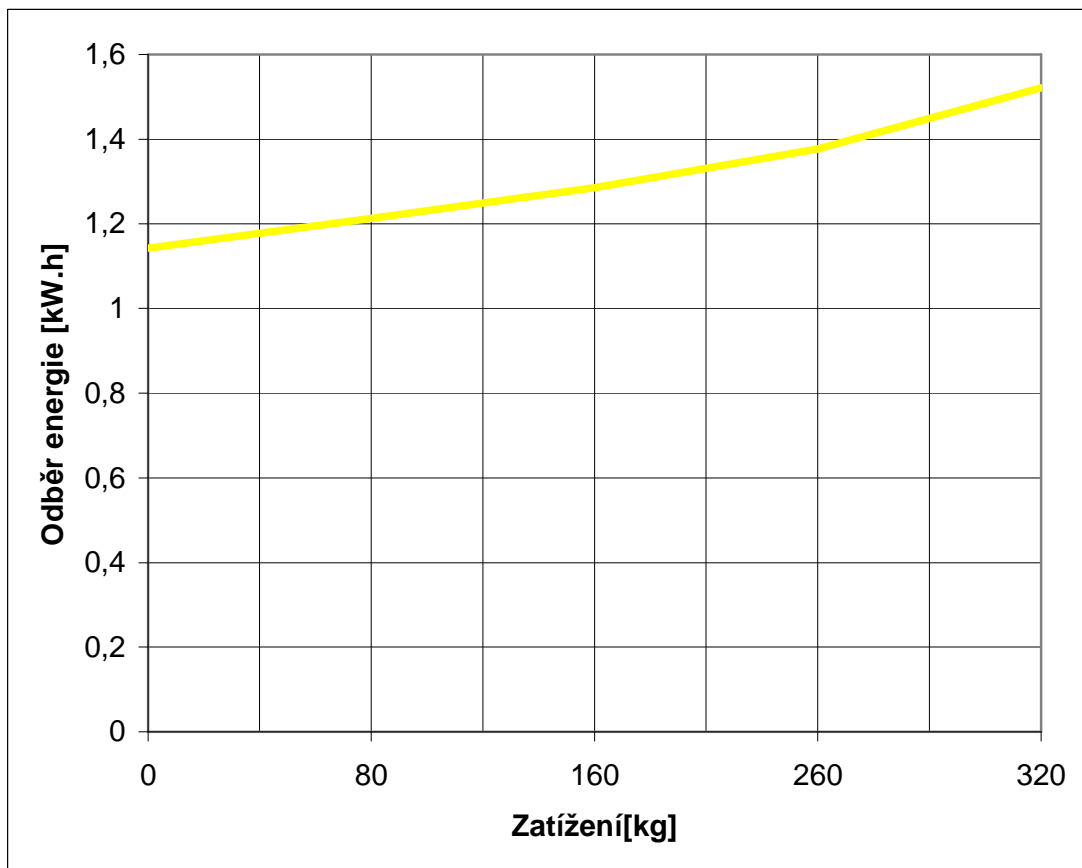
*Tab. 8 Tabulka naměřených hodnot jednorázového měření spotřeby energie pro Jednorychlostní výtahový stroj*

P<sub>1</sub> - Spotřeba energie na 1 jízdou při max. zdvihu

P<sub>x</sub> – Celková spotřeba (při počtu 25 jízd ve směru nahoru a 25 jízd ve směru dolů)

U tohoto výtahu nebylo možné zaznamenat počet jízd, jde o starý typ výtahu, před provedením rekonstrukce. U tohoto nezrenovovaného výtahového systému není v řídicím a diagnostickém zařízení zakomponované počítačové počítadlo jízd. Vzhledem k podobným parametrům a předpokladu, že se odběr bude výrazně lišit, není tento údaj až tak důležitý, pro porovnání výsledku s ostatními systémy.

Provedením dlouhodobého měření jsme zjistili, že odběr elektrické energie tohoto stroje je srovnatelný s odběrem stroje bubnového, jenž je také osazen asynchronním strojem o výkonu 5,5 kW. Odběr je **30,95 kW.h**. Při přesném měření byly zjištěny hodnoty uvedené v tabulce 8, které jsou zaneseny do grafu 5. Protože je tento výtah umístěn v budově s devíti patry, bylo při přesném měření nutné měřit odběr elektrické energie pouze při zdvihu do 7. patra, abychom mohli naměřené výsledky porovnat s ostatními



*Graf 5. Spotřeba energie jednorychlostního výtahového stroje*

**Popis grafu:** V grafu nad textem je vynesena závislost spotřeby elektrické energie převodového výtahového stroje v závislosti na zatížení kabiny. V tomto případě je to obdobně jako u předchozího případu téměř lineární průběh. Jen je v jiné hladině. Což znamená, že téměř nezáleží na zdvihané zátěži, neboť se odběr zvyšuje úměrně k její velikosti, ale odběr je vyšší. To je zřejmé z grafu č.5, kde je minimum průběhu v hodnotě 1,142 kW.h a maximum 1,521kW.h a u grafu č.4 je minimum 0,5 kW.h a maximum 1,18 kW.h.

## 6.4 Ověření naměřených hodnot fyzikálním výpočtem a alternativní metodou měření

Pro ověření naměřených hodnot byla užita výpočtová metoda, s jejíž pomocí lze určit, zdali jsou naměřené hodnoty odpovídající teoretickým předpokladům. V tomto výpočtu je zanedbána hmotnost nosných lan. Dále se zanedbává změna účinnosti stroje v závislosti na zátěžovém momentu. Zanedbaná je také změna rychlosti při rozjezdu a dojezdu ve staniční zóně. Účinnost systému, jenž se skládá z účinnosti šachty (mechanické ztráty vzniklé třením na vodících kolejnicích, a další mechanické ztráty), účinnosti elektrického stroje a účinnosti frekvenčního měniče jsou technickou dokumentací uváděny v rozsahu 80-90%. Výpočet ověřuje měření provedené v jednom směru z dolní stanice do horní, pro bubnový i trakční systém.

### a) Výpočet spotřeby elektrické energie pro bubnový systém

$$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$v = 1 \text{ m.s}^{-1}$$

$$s = 21 \text{ m}$$

$$m_{\text{zátěž}} = 0, 80, 160, 240, 320 \text{ kg}$$

$$m_{\text{kabina}} = 380 \text{ kg}$$

$$\eta_{\text{mech}} = 85\%$$

$$\eta_{\text{stroj}} = 80\%$$

$$\eta_{\text{FM}} = 90\%$$

---

$$m = m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}}$$

$$\eta = \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}}$$

$$P_{\text{mech}} = m \cdot v \cdot g$$

$$P_{\text{el}} = P_{\text{mech}} / \eta$$

$$P_{\text{el}} = (m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}}) \cdot v \cdot g / \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}}$$

$$E = P_{el} \cdot t$$

$$t = s / v$$

$$E = [ ( m_{kabina} + m_{zátěž} ) \cdot v \cdot g / \eta_{mech} \cdot \eta_{FM} \cdot \eta_{stroj} ] \cdot (s / v)$$

$$E = ( m_{kabina} + m_{zátěž} ) \cdot g \cdot s / \eta_{mech} \cdot \eta_{FM} \cdot \eta_{stroj}$$

$m_{zátěž}$ [kg]	E[kWh]
0	0,0362
80	0,0412
160	0,0515
240	0,0591
320	0,0668

*Tab. 9 Tabulka vypočtených hodnot pro bubnový systém*

### **b) Výpočet spotřeby elektrické energie pro trakční systém**

$$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$v = 1 \text{ m.s}^{-1}$$

$$s = 21 \text{ m}$$

$$m_{zátěž} = 0, 80, 160, 240, 320 \text{ kg}$$

$$m_{kabina} = 380 \text{ kg}$$

$$\eta_{mech} = 85\%$$

$$\eta_{stroj} = 80\%$$

$$\eta_{FM} = 90\%$$

$$m_{protiváha} = m_{kabina} + \frac{1}{2}m_{nosnost}$$

$$m = m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}} - m_{\text{protiváha}}$$

$$m = m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}} - ( m_{\text{kabina}} + \frac{1}{2}m_{\text{nosnost}} )$$

$$\eta = \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}}$$

$$P_{\text{mech}} = m \cdot v \cdot g$$

$$P_{\text{el}} = P_{\text{mech}} / \eta$$

$$P_{\text{el}} = [ m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}} - ( m_{\text{kabina}} + \frac{1}{2}m_{\text{nosnost}} ) ] \cdot v \cdot g / \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}}$$

$$E = P_{\text{el}} \cdot t$$

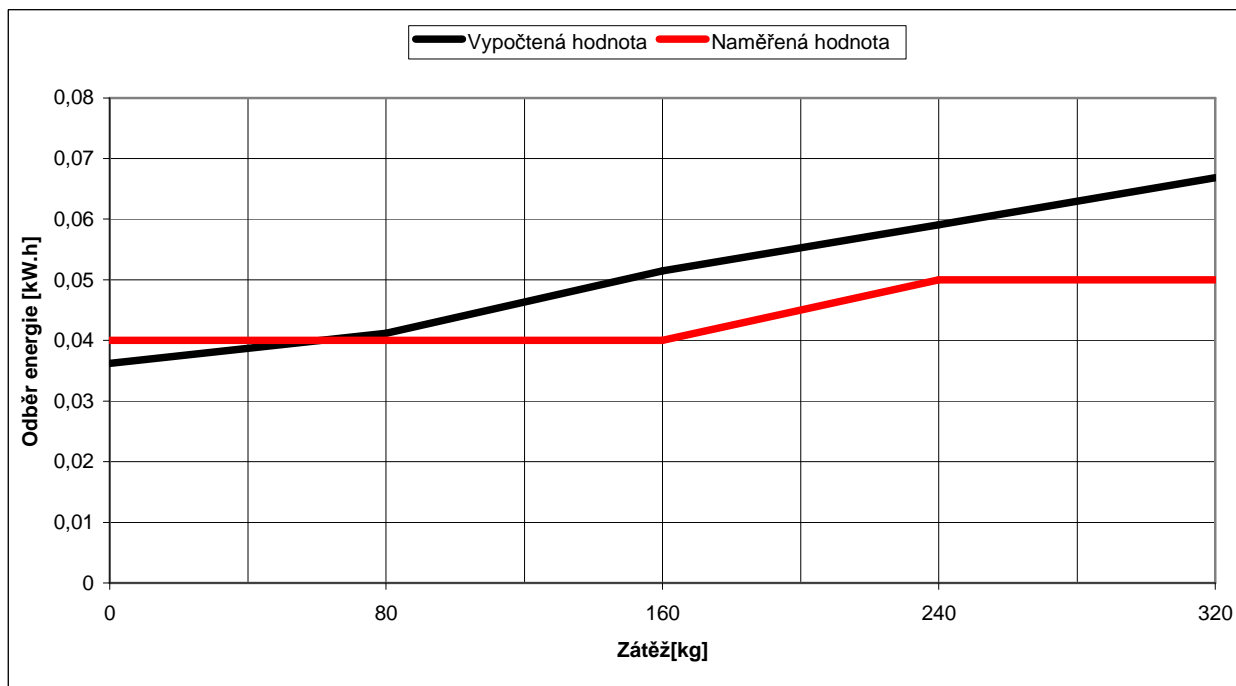
$$t = s / v$$

$$E = \{ [ m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}} - ( m_{\text{kabina}} + \frac{1}{2}m_{\text{nosnost}} ) ] \cdot v \cdot g / \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}} \} \cdot (s / v)$$

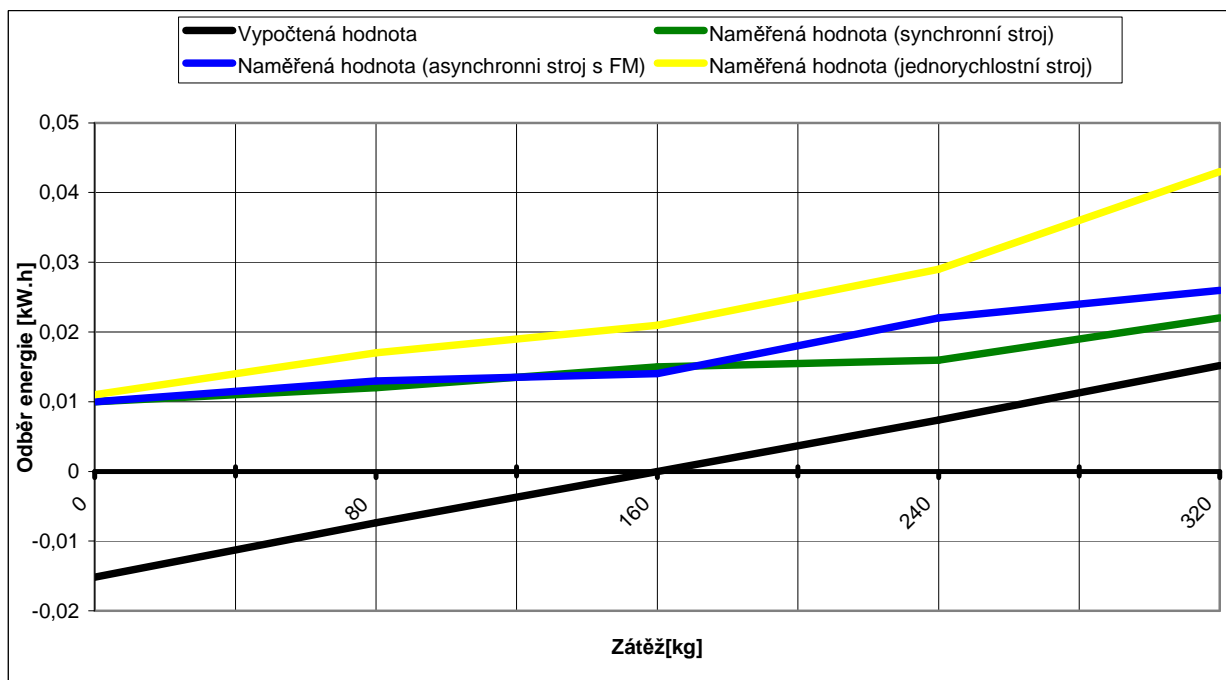
$$E = [ m_{\text{kabina}} + m_{\text{zátěž}} - ( m_{\text{kabina}} + \frac{1}{2}m_{\text{nosnost}} ) ] \cdot g \cdot s / \eta_{\text{mech}} \cdot \eta_{\text{FM}} \cdot \eta_{\text{stroj}}$$

$m_{\text{zátěž}} [\text{kg}]$	$E[\text{kWh}]$
0	-0,0152
80	-0,0074
160	0
240	0,0074
320	0,0152

*Tab. 10 Tabulka vypočtených hodnot pro trakční systém*



Graf 6. Porovnání naměřené spotřeby bubnového systému se spotřebou vypočtenou

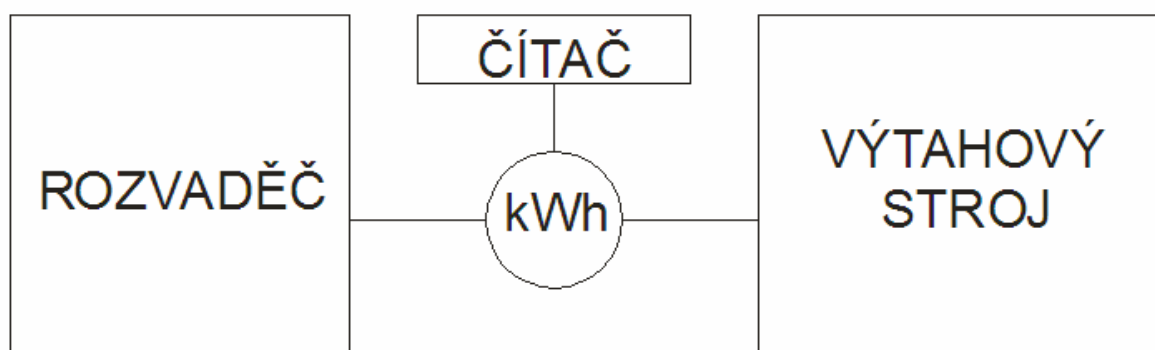


Graf 7. Porovnání naměřené spotřeby trakčního systému se spotřebou vypočtenou

Porovnáním výsledků měření, při jízdě směrem nahoru s definovanou zátěží a vypočtené hodnoty odběru stroje u bubnového výtahu lze usoudit, že měření přibližně odpovídá výpočtu, dochází zde sice k určitým odchylkám, jenž jsou dány nedostatečnou přesností některých konstant nutných k výpočtu, ale pro ověření provedeného měření dostačuje. V případě trakčního výtahu s protiváhou není tento výpočet odpovídající skutečnosti. V tomto výtahovém systému se projevuje vliv protiváhy, která neustále vlivem pohybu kabiny mění poměr váhy lan na jednotlivých stranách trakčního kola výtahu. Tento jev má za následek nepřesné vyvážení, čímž dochází k odběru energie i v případě, kdy by dle teoretického výpočtu neměl stroj odebírat elektrickou energii. Další aspekt, který má za následek odběr energie při tomto zatížení, je brzdění stroje. V případě, že je velký rozdíl mezi hmotností protiváhy a kabiny, je nutné stroj elektricky brzdit, aby nedošlo k překročení maximální povolené rychlosti vlivem gravitačního zrychlení. Při uvážení těchto vlivů lze usoudit, že i při měření trakčního systému jsou naměřené hodnoty reálné.

#### b) Ověření výsledků alternativní měřicí metodou

Pro ověření naměřených a vypočítaných hodnot jsem použil také alternativní metodu měření, jenž spočívá v připojení třífázového digitálního elektroměru obdobně jako v případě předchozí měřicí metody, tzn. Na vstup měřeného stroje. Vzhledem k nízké rozlišovací schopnosti měřicího přístroje bylo nutné, pro zvýšení přesnosti měření připojit na impulsní výstup měřicího zařízení jednoduchý čítač dle následujícího obrázku. Ten čítá impulsy z tohoto výstupu. Počet těchto impulsů pak odpovídá spotřebě elektrické energie. Převodní poměr je 800 impulsů na kWh. To znamená, že jeden impuls odpovídá 1,25 Wh. Po vynásobení této hodnoty počtem impulsů dostávám výslednou spotřebu.



Obr. 19 Zapojení trojfázového elektroměru s čítačem impulsů

Pro ověření předchozího měření jsem využil výtah z bodu 6.3 / a. Postupoval jsem stejně jako při předchozím měření pomocí analyzátoru, pouze s rozdílným měřicím přístrojem. Tento měřicí přístroj se skládá z jednosazbového modulárního elektroměru MANFLER 9903D a ze stavebnice programovatelného čítače impulsů.



Obr. 20 Trojfázový elektroměr ( vpravo ) a čítač impulsů ( vlevo )

Zdroj: <http://www.elektromery.com/index.php?action=tovar&id=112>

<http://www.flajzar.cz/citac-impulsu-s-predvolbou-a-4-mistnym-displejem.htm>

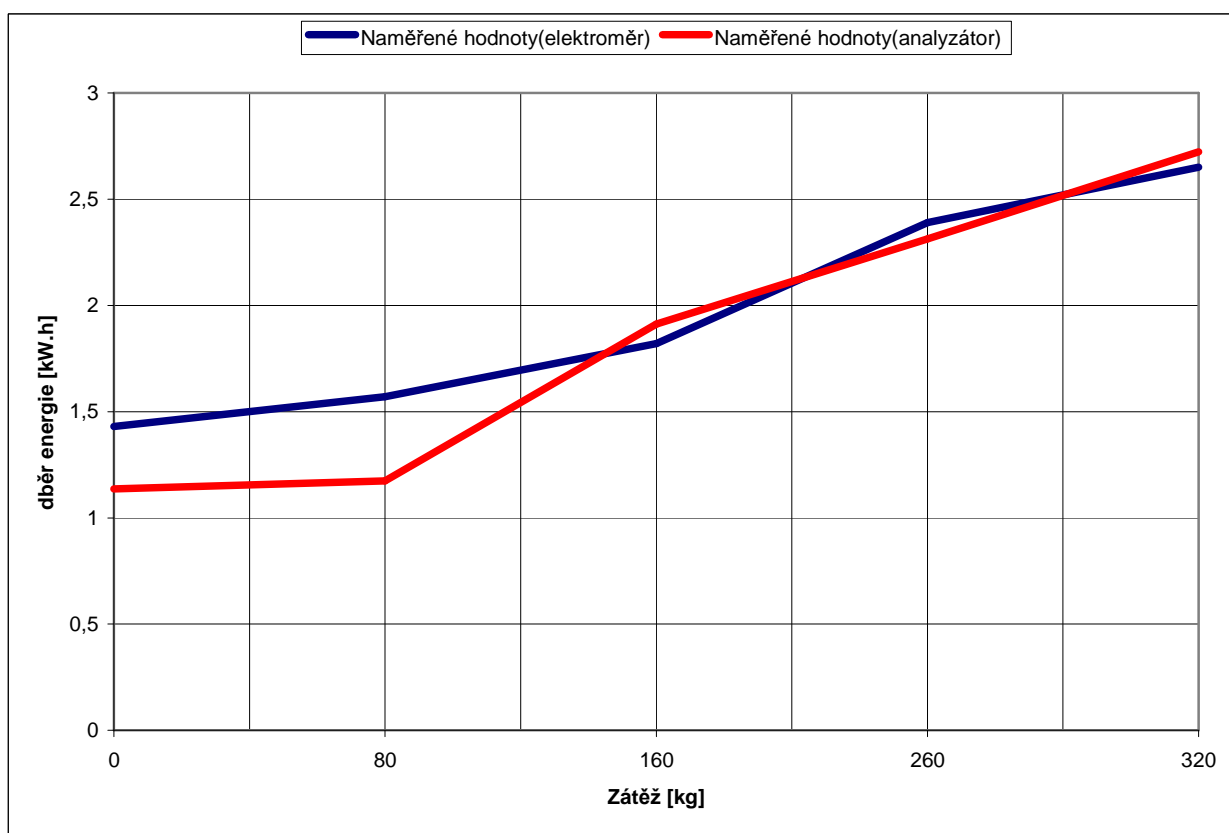
Zatížení[kg]	Počet jízd	Zdvih [m]	n	$P_x$ [kW.h]
0	50	3x7	909	1,137
80	50	3x7	938	1,173
160	50	3x7	1529	1,912
260	50	3x7	1851	2,314
320	50	3x7	2193	2,724

Tab. 11 Tabulka hodnot pro bubnový výtah neměřených pomocí alternativní metody měření

n – počet impulsů

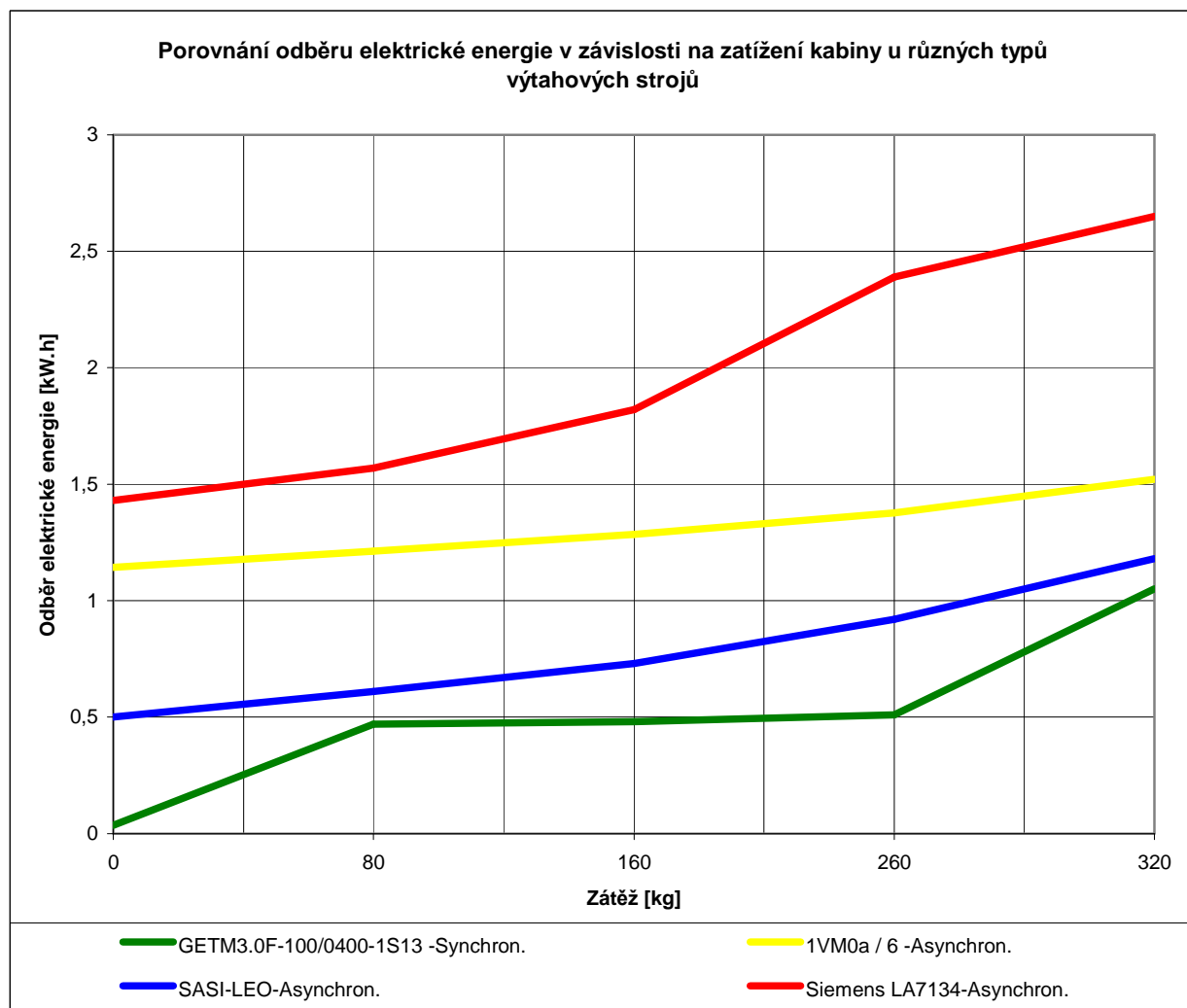


Z počtu impulsu, pomocí nichž jsem dle převodního poměru vypočítal spotřebu elektrické energie, lze usoudit, že výsledky se téměř neliší od výsledků naměřených analyzátozem. Tato metoda má výhodu ve větší přesnosti při měření malých odběrů, ale z hlediska zpracování výsledků je složitější. Měření ověřuje správnost výsledků předchozí metody, kterou byly změřeny všechny typy strojů. Tato metoda byla použita pouze v jednom případě. Sloužila pouze pro ověření korektnosti hlavní měřící metody. Při porovnání výsledků lze dojít k závěru, že měřící metoda pomocí analyzátoru poskytuje relevantní výsledky měření.



Graf 8. Porovnání naměřených hodnot spotřeby bubnového systému pomocí různých metod

## 7 Závěr



*Graf 9. Porovnání spotřeby všech výtahových strojů měřených analyzátozem*

Po prostudování tohoto textu by měly být objasněny základní principy a funkce jednotlivých typů výtahových systémů a komponentů jejich elektrovýzbroje. Výše jsou popsány tyto komponenty, které určují energetickou náročnost jednotlivých výtahových systémů. V teoretickém rozboru jsou popsány základní principy synchronních a asynchronních elektromotorů, řízení jejich otáček a použití v konkrétních výtahových systémech (BOV, TOV). Tyto teoretické předpoklady jsou pak ověřeny v části praktické, která se zabývá měřením odběru elektrické energie v konkrétních případech. Z teoretického hlediska se jeví jako nejméně energeticky náročný motor synchronní. Rotor synchronního stroje se otáčí stejnou rychlostí jako

točivé magnetické pole a z toho vyplývá, že jeho skluz je nulový. Tím je jeho účinnost vyšší než u motoru asynchronního. Vzhledem k těmto předpokladům, je možné užít pro stejně náročné aplikace synchronní motor s nižším jmenovitým výkonem. Od toho se odvíjí jeho nižší spotřeba energie.

Z grafu č. 9 je možno vyčíst, že předpoklad se opravdu potvrdil. Při konstrukci výtahu, lze pro stejnou nosnost využít úspornějšího synchronního stroje. Teď zbývá pouze posoudit, zda je energeticky nejméně náročný stroj nejlepší volbou, pro danou konstrukci. Vzhledem k odběru elektrické energie je nejvhodnější synchronní motor, ten se také stává nejpoužívanějším při prováděných modernizacích, neboť má více pozitivních stránek. Patří mezi ně nejen spotřeba elektrické energie, ale také snadnější údržba, nižší pořizovací cena a dobrá regulovatelnost. Mezi jeho úskalí se řadí vysoká citlivost na elektromagnetické rušení řídicích signálů, což je při spouštění motorů, spínání elektromagnetických brzd a odkláněcích magnetů běžný jev, který je nutné řádně ošetřit. Zůstává zde ještě otázka, která je ovšem otázkou dlouhodobějšího testování v řádu desítek let. Tou je životnost a poruchovost těchto strojů v dlouhodobějším provozu. V tomto ohledu jsou asynchronní stroje prověřeny dlouholetou praxí. Jejich životnost se pohybuje při běžných revizních a servisních úkonech (výměny mechanických částí, výměny oleje atd.) okolo 50 let. Synchronní stroje se využívají v praxi poměrně krátkou dobu (jednotky let), což není dostatečná doba, pro jakékoliv závěry, ohledně životnosti. Životnost je parametr důležitý z důvodu finančních úspor, stejně tak jako pořizovací cena a spotřeba elektrické energie. Pouze čas v reálném provozu dokáže prověřit životnost synchronních strojů.

## Použitá literatura

- [1] KUCHAR, Martin ; ŠTĚPANEK , Libor. Přímé řízení asynchronních motorů – Takahashiho metoda. *Automatizace* [online]. Březen 2006, 49, 3, [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1138>>.
- [2] *Http://motor.feld.cvut.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-04-18]. [Http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A5M14RPI/Vytahy\\_a\\_el\\_pohony\\_II.pdf](Http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A5M14RPI/Vytahy_a_el_pohony_II.pdf). Dostupné z WWW: <[http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A5M14RPI/Vytahy\\_a\\_el\\_pohony\\_II.pdf](http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/A5M14RPI/Vytahy_a_el_pohony_II.pdf)>.
- [3] MLČÁK, Tomáš; VRÁNA, Václav. *Http://fei1.vsb.cz/kat420* [online]. 2008 [cit. 2011-04-18]. [Http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FMMI/Prednasky/10\\_stridave\\_stroje.pdf](Http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/10_stridave_stroje.pdf). Dostupné z WWW: <[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FMMI/Prednasky/10\\_stridave\\_stroje.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/10_stridave_stroje.pdf)>.
- [4] MĚŘIČKA, J; ZOUBEK, Z. *Obecná teorie elektrického stroje*. Praha : SNTL, 1973.
- [5] VETTER, Uli . *Http://vytahy.tzb-info.cz* [online]. 26.7.2010 [cit. 2011-04-18]. <Http://vytahy.tzb-info.cz/provoz-a-servis/6667-energeticka-ucinnost-vytahovych-komponentu>. Dostupné z WWW: <<http://vytahy.tzb-info.cz/provoz-a-servis/6667-energeticka-ucinnost-vytahovych-komponentu>>. ISSN 1801-4399.
- [6] HOŘAVA, J. *Skalární versus vektorové řízení synchronních motorů* [online]. Brno : Fakulta strojního inženýrství, 2009. 42 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16036](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16036).
- [7] PLUSKAL, Viktor . *KONCEPCNÍ ŘEŠENÍ POHONU VÝTAHU PRO DOPRAVU OSOB* [online]. Brno : FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2010. 33 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z WWW: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29604](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29604)>.
- [8] VANĚK, Václav. Přehled výtahů v bytových domech, jejich stav a možné nápravy. *TZBinfo* [online]. 16.8.2010, 1, [cit. 2011-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/6708-prehled-vytahu-v-bytovych-domech-jejich-stav-a-mozne-napravy>>.
- [9] *Http://industrial.omron.co.uk* [online]. 2011 [cit. 2011-04-26]. [Http://industrial.omron.co.uk/en/products/catalogue/motion\\_and\\_drives/frequency\\_inverters/lifts\\_and\\_cranes/17/default.html](Http://industrial.omron.co.uk/en/products/catalogue/motion_and_drives/frequency_inverters/lifts_and_cranes/17/default.html). Dostupné z WWW: <[http://industrial.omron.co.uk/en/products/catalogue/motion\\_and\\_drives/frequency\\_inverters/lifts\\_and\\_cranes/17/default.html](http://industrial.omron.co.uk/en/products/catalogue/motion_and_drives/frequency_inverters/lifts_and_cranes/17/default.html)>.
- [10] NOVÁK, Martin. *Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky VEKTOROVÉ ŘÍZENÍ VYSOKOOTÁČKOVÉHO SYNCHRONNÍHO STROJE*. 2009. Dostupné z: [www.fsid.cvut.cz/cz/u12110/vyzkum/trebon09/cd/EL/No.pdf](http://www.fsid.cvut.cz/cz/u12110/vyzkum/trebon09/cd/EL/No.pdf)