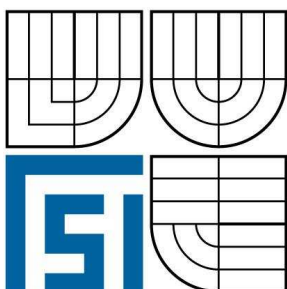


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ NA MODELU DOMOVNÍHO VÝTAHU

EXPERIMENTAL MEASURING OF MODEL HOUSE LIFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN KALINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. JOSEF KOLÁČNÝ, CSc.

BRNO 2008

Abstrakt

Tato práce popisuje model domovního výtahu s EC motorem (elektronicky komutovaným motorem) a program, který je potřebný k ovládní modelu a k nastavení ochranných prvků pro bezpečný provoz. Práce se zabývá experimentálním měřením na modelu při chodu naprázdno a při zatížení a zjišťuje se vliv protizávaží na příkon EC motoru. Dále pak obsahuje zpracování naměřených hodnot, mechanickou úpravu modelu vyvozenou z měření a porovnání měření před a po změně modelu.

Součástí práce je také namodelování výtahu v programu na 3D modelování SolidWorks.

Abstract

This work describes a model of a house elevator with an EC motor (Electronically Commutated Motor) and a programme essential for controlling of the model and adjusting of the protective features for a safe operation. The work deals with experimental measurement based on the model, firstly while being at idle run, and then while being loaded. It is focused on the identification of influencing the EC motor input by usage of the counterweight. The aim of the work is to process the measured data, which are then used for mechanical adaptation of the model and the consequent confrontation between the measured data gained before and after the adaptation.

Also an important part of the work is the simulation of the elevator using the 3D SolidWorks Programme.

Klíčová slova

model výtahu, EC motor, měření výkonu, polohová čidla

Keywords

model lift, EC motor, measurements power, position sensors

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Experimentální měření na modelu domovního výtahu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím uvedené odborné literatury a dalších citovaných informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci této práce.

Martin Kalina, Brno, 2008

.....

Obsah:

ABSTRAKT	3
1. ÚVOD	7
2. HISTORIE VÝTAHU	8
3. JEDNOTLIVÉ ČÁSTI MODELU VÝTAHU	10
3.1. MECHANICKÁ	10
3.2. ELEKTRICKÁ	13
3.3. SOFTWAREOVÁ	13
4. ELEKTRONICKY KOMUTOVANÝ MOTOR	14
4.1. PRINCIP EC MOTORU	14
4.2. KONSTRUKCE EC MOTORU	15
4.3. POROVNÁNÍ EC A DC MOTORU	16
4.4. MATEMATICKÝ MODEL EC MOTORU	17
5. POUŽITÝ EC MOTOR	19
5.1. PŘIPOJENÍ MOTORU SERVIDA 2315D K MODELU	21
5.1.1. <i>Napájecí zdroj</i>	21
5.1.2. <i>Správné elektrické propojení</i>	21
5.2. MECHANICKÉ VLIVY, VLIV TEPLoty A OKOLÍ NA MOTOR	22
6. PROGRAM A MODEL VÝTAHU	23
6.1. PROGRAM POUŽITÝ PRO MĚŘENÍ	23
6.2. PROGRAM SIMULUJÍCÍ REÁLNÝ VÝTAH	23
6.3. MODEL VÝTAHU	24
7. SNÍMAČE POLOHY KABINY	25
7.1. POUŽITÉ MECHANICKÉ MIKROSPÍNAČE	25
7.2. MOŽNOSTI NAHRAZENÍ SPÍNAČŮ	26
7.2.1. <i>Mechanické varianty</i>	26
7.2.2. <i>Jazyčkový kontakt</i>	27
7.2.3. <i>Indukční a kapacitní spínače</i>	28
7.2.4. <i>Optická brána</i>	29
8. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ POHONU	30
8.1. STATICKÉ MĚŘENÍ	30
8.1.1. <i>Měření napájecího napětí a příkonu</i>	31
8.1.2. <i>Vliv protizávaží na příkon EC motoru</i>	31
8.2. DYNAMICKÉ MĚŘENÍ	35
8.2.1. <i>Úprava naměřených dat</i>	36
8.2.2. <i>Popis programu na úpravu naměřených dat</i>	36
8.2.3. <i>Data z dynamického měření</i>	37
8.3. POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ Z DYNAMICKÉHO A STATICKÉHO MĚŘENÍ	41
8.4. MĚŘENÍ OTÁČEK	41
9. ÚPRAVA MODELU	42
9.1. NEVHODNÉ VEDENÍ PROTIZÁVAŽÍ A KABINY	42
9.2. NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ PRO SNÍŽENÍ TŘENÍ A PORUCHOVOSTI MODELU	43
9.3. POUŽITÉ ŘEŠENÍ PRO SNÍŽENÍ TŘENÍ NA VEDENÍ	44
10. MĚŘENÍ PO ZMĚNĚ MODELU	45
10.1. STATICKÉ MĚŘENÍ	45
10.2. DYNAMICKÉ MĚŘENÍ	47

11.	POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	50
11.1.	POROVNÁNÍ DAT DYNAMICKÉHO MĚŘENÍ	51
11.1.1.	<i>Porovnání dat při nezátěžené kabině.....</i>	<i>51</i>
11.1.2.	<i>Porovnání dat při zátěži kabiny 2,2kg</i>	<i>53</i>
12.	ZÁVĚR.....	54
13.	LITERATURA	55
14.	PŘÍLOHY	56

1. Úvod

Tato práce se převážně zabývá měřením na modelu domovního výtahu, který je umístěn v laboratoři Elektrických pohonů UVEE FEKT VUTBR.

V úvodní části je zmíněna historie domovních výtahů a poté je uveden stručný popis měřeného modelu, který lze rozdělit na tři hlavní podskupiny, jimiž jsou mechanická, elektrická a softwarová část. Pohonem na modelu je EC motor, proto je jedna z kapitol věnována popisu elektricky komutovaného motoru a na ni navazuje popis konkrétního motoru, který je přímo použit na modelu.

Jedním z cílů práce bylo oživení modelu a nastavení ochranných prvků pro bezpečný provoz systému a proto se musel vytvořit nový program, který je zde také popsán. Po oživení modelu se zjistily určité nedostatky, a to konkrétně u mechanických snímačů. Dále jsou proto uvedeny jednotlivé typy senzorů a z nich je následně vybrán ten nejvhodnější, který je použit na modelu.

Součástí práce je také namodelování výtahu v programu na 3D modelování SolidWorks a na tento model již navazuje samotné měření, ze kterého je vyvozena nutná mechanická změna modelu. Po provedení změny je model opět změřen a jednotlivé výsledky naměřené před změnou a po ní jsou mezi sebou porovnány.

2. Historie výtahu

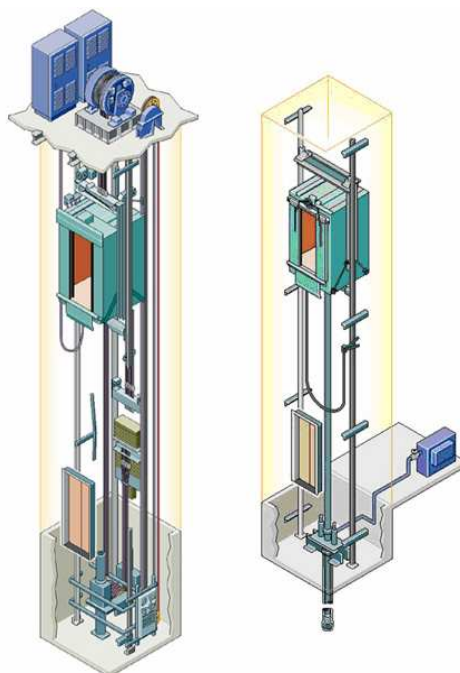
Zvedáky se používaly již ve starověku a jedno z prvních zdvihadel, o kterém máme písemné zmínky, bylo vyrobeno okolo roku 236 př. n. l. a sestrojil ho slavný řecký učenec Archimédes. Kabina visela na kovovém lanu a do výšky ji zdvihal ruční vrátek.

Dá se předpokládat, že zdvihadla byla používána i daleko dříve, například při stavbě pyramid a jiných velkolepých staveb po celém světě. Tato zdvihadla byla ovládána různě, například zvířecí a lidskou silou nebo vodou hnaným mechanismem.

Zdvihací zařízení, podobající se dnešním mechanismům, bylo vynalezeno v 18. století a bylo poháněno parním strojem. V dalších aplikacích byl použit píst, který byl vložen do podzemního válce a do něj byla vstřikována kapalina, nejčastěji voda. Píst se působením tlaku kapaliny zvedal a při vypuštění klesal. Ovládání výtahu bylo řízeno množstvím v puštěné vody, které se měnilo v závislosti na otevření přítokového kanálu, které se ovládalo pomocí lan. Pozdější systémy pak měly přesnější pákové ovládání.

Konstrukce výtahů používaných v dnešní době byla objevena v 19. století ve Velké Británii. S použitím lana, kladky a protizávaží se zvedala břemena podél šachtové zdi. První výkonný výtah byl vyvinut v polovině 19. století ve Spojených státech v New Yorku. Důležitým krokem ve vývoji výtahu, byl první bezpečný výtah s bezpečnostní brzdou v městské budově New York Crystal Palace v roce 1853 a vyrobil ho Elisha Graves Otis. Vynález výtahu byl velice důležitý pro zrod výškových budov. V roce 1857 byl v provozu první osobní výtah instalovaný v obchodním domě E. V. Haughwout Co. v New Yorku, který jezdil do pěti podlaží rychlostí 0,2 m/s (dnes výtahy dosahují rychlosti 8,3 m/s). V NY o deset let později zakládají synové Otise společnost Yonkers a dosahují hromadné výroby tisíce kusů. S touto produkcí se objevily další nové prvky včetně otočného závitu a hydraulického modelu. Dnes hydraulické výtahy viz. Obr.: 2.1 mají své samostatné místo ve světové produkci.

Roku 1880 s příchodem elektřiny, byl německým elektrotechnikem Werner von Siemens zkonstruován první výtah s elektromotorem. Motor byl umístěn na spodu kabiny a otáčel ozubeným pastorkem, který tak šplhal po ozubeném hřebenu. Od roku 1887 se u výtahů motor přestěhoval nad nejvyšší podlaží, kde poháněl lanový buben. Bubnová konstrukce sice běžně vyhovovala, ale byla nevhodná pro výškové budovy (neúnosně velký buben), proto nakonec převládl způsob, kdy je lano přehozeno přes lanovnici, kde na jedné straně je lano kabiny a na druhé lano závaží, tzv. trakční nebo lanové výtahy viz. Obr.: 2.1, čímž se také značně uspořila energie.



Obr.: 2.1 Lanový výtah vlevo a hydraulický vpravo(převzato z lit. [2])

S elektrickým motorem se značně urychlil vývoj výtahů. Elektrické výtahy nahradil ozubené převody a více-rychlostní motory nahradily původní jedno-rychlostní. Elektromagnety nahradily ruční přepínání a brzdění. Výtahy byly vybaveny ovládacími tlačítky a různými signálními systémy.

Dnes již nejsou zapotřebí složitá patrová schémata a kopírovací bloky starých systémů. Tlačítka a jiné spínací prvky nahradily klávesnice. Výtahy jsou mnohem rychlejší, jejich řízení přesnější, dokonalejší a často jsou řízeny mikroprocesory, mají frekvenční měniče a plynulou regulaci dojezdu. Staly se běžným “dopravním” prostředkem. Na celém světě je denně počet dopravených osob výtahy větší, než u jiných dopravních prostředků.

V Dubaji ve Spojených Arabských Emirátech bude letos (tzn. Roku 2008) dokončena budova Burj Dubai s výškou 702m, kde bude 58 výtahů od firmy Otis, které budou dosahovat rychlosti blížící se 10m/s to znamená, že pasažéři budou přepravováni nahoru a dolů téměř 35km/h. Cesta bude trvat asi 55s.

V České republice vyráběla výtahy firma *Breitfeld – Daňek* a první výtah vyrobila již roku 1876 pro pivovar v Litoměřicích za použití parního stroje. První elektrický výtah s tlačítky, tak jak jej známe dnes, jezdil v pražském hotelu Modrá hvězda. Jeden z prvních výtahů u nás, můžeme vidět na zámku v Konopišti, byl vyroben na přelomu 19. a 20. století pro následníka rakousko – uherského trůnu Ferdinanda d'Este (1863 – 1914).

3. Jednotlivé části modelu výtahu

Při popisu výtahu lze model rozdělit na tři hlavní podskupiny a těmi jsou mechanická, elektrická a softwarová část. Jednotlivé části jsou popsány níže, další informace lze také najít v lit. [1].

3.1. Mechanická

V mechanické části si blíže popíšeme konstrukci modelu. Model viz. Obr.: 3.1 je vytvořen jako trakční neboli lanový výtah s kladkou a protizávažím a můžeme si ho rozdělit na několik částí:

Šachta a čelní panel

Šachta je vysoká 98cm, široká 25cm a hluboká 36cm a je svařena z ocelových L-profilů o rozměrech 25x25x3mm, které jsou natřeny černou barvou. Podlaha a strop jsou vyrobeny z ocelových plechů o tloušťce 5mm. Do stropu jsou vyříznuty vodním paprskem otvory pro vodiče a kladku a do stropu i dna jsou vyvrtány otvory potřebné pro uchycení vodičích tyčí a celého zvedacího mechanismu. Čelní panel je vyroben z plechu T=3mm a do něho jsou laserem vypáleny otvory pro dvířka, displeje a signalizační led diody. Zbytek šachty a celá strojovna je kryta plexisklem o tloušťce 5mm. Celá šachta je pak umístěna na dřevěný podstavec.



Obr.: 3.1 Šachta, čelní panel a strojovna

Strojovna

Zde je umístěn kompletní zvedací mechanismus: kladka, šneková převodovka a motor. Spojení mezi motorem a převodovkou je realizováno pružnou spojkou firmy Rotex. Spojka má z jedné strany vstupní otvor 6,35 mm (pro motor) a druhý vstup 6 mm. Mezi spojkou a převodovkou je vysoustružená hřídel, která převádí průměr spojky 6 mm na vstupní průměr šnekové převodovky 11 mm.

Spojení převodovky a kladky je realizované výstupní hřídelí, která je na konci uložena do valivého ložiska v ložiskovém domečku.

Klec a protizávaží

Klec je vyrobena ze čtyřhranné trubky 100x100mm o výšce 150mm. Podlaha a strop jsou k ní přivařené. Do klece je pak vyříznut vstupní otvor. Na bocích jsou připevněna duralová vodítka, ve kterých jsou zapuštěna kluzná lineární ložiska, která nahradila původní teflonová ložiska. Důvod jejich výměny je popsán v kap. 8 a 9.1. **Váha klece je 2,2kg.**

Závaží je vedeno ve dvou tyčových vodítkách a skládá se z duralového mezikusu a deseti ocelových obdélníkových závaží. Vše je dohromady sešroubováno dvěma závitovými tyčemi. V původním duralovém mezikusu byla teflonová kluzná ložiska. Výměna duralového mezikusu je popsána v kap. 8 a 9.1. Následkem této úpravy bylo zvýšení hmotnosti protizávaží, proto jedno z deseti obdélníkových závaží bylo vyměněno za závaží o menší hmotnosti.

Váha jednotlivých částí:

Hmotnost duralového mezikusu se z původních 0,4kg zvýšila na 0,6kg. Proto jedno z deseti ocelových závaží o hmotnosti 0,4kg bylo nahrazeno závažím o hmotnosti 0,2kg. **Celková hmotnost protizávaží** tedy zůstala na původní hodnotě a to **4,4kg.**

Maximální zátěž v kabině m_{\max} se vypočítá ze vztahu:

$$m_{\max} = 2 \cdot (m_z - m_k) = 2 \cdot (4,4 - 2,2) = 4,4 \text{ kg} , \quad (3.1)$$

kde m_z je hmotnost závaží v kg a m_k hmotnost kabiny v kg.

Vedení kabiny a protizávaží

Na vedení jsou použity tyče z hlazené oceli o průměru 10mm. Tyč je připevněna mezi dno a strop modelu.

Brzdňý systém

Při výpadku proudu šneková převodovka firmy TOS Znojmo typ MRT28 nedovolí, aby výstup roztočil vstup (dáno konstrukcí převodovky) a tím model zastaví.

Lanko

U skutečného domovního výtahu musí mít výtah podle normy dvě a více nezávislých nosných ústrojí. Lana se dimenzují na největší zatížení S

$$S = K + Q + L_k, \quad (3.1)$$

kde K je váha klece v kg, Q je dovolené zatížení klece v kg a L_k je hmotnost lana v kg při maximálním prodloužení.

Z toho plyne:

$$S = 4.4 + 4.4 + 0.008 = 8.808 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Největší zatížení S pak ještě vynásobíme koeficientem bezpečnosti. Pro hnací kotouče s pevným závěsem je bezpečnost 18.

Lano by tedy mělo být dimenzováno na:

$$S \cdot 18 = 158.6 \text{ kg} \quad (3.3)$$

Na modelu je použito lanko o tloušťce 3mm viz. Tab.: 3.1, které je podle výpočtu předdimenzováno. Lanko větší tloušťky bylo zvoleno kvůli rozměrům vyrobené kladky, aby došlo k dostatečnému tření v drážce.

Tab.: 3.1 Parametry lanka

Jmenovitý průměr	3,15mm
Matematický průměr	3mm
Nosný průřez lanka	3,95mm ²
Váha lanka na metr	5,2g/m
Jmenovitá nosnost	
Při pevnosti 160kg/mm ²	651kg
Nosnost při bezpečnosti 18	36,2kg

Připevnění lanka ke kleci a k protizávaží bylo vytvořeno běžnou spojkou pro drátěná lanka.

Kladka

Aby byla splněna podmínka o bezpečném ohybu lanka, měla by mít kladka průměr 40 krát větší než je průměr lanka, průměr kladky by tedy měl být 120mm. **Na modelu je použita kladka o průměru 90mm**, protože se při tvorbě modelu nepodařilo zajistit materiál vhodných rozměrů. Zvolené lanko je pružnější než silná ocelová lana, která jsou použita u skutečných výtahů, proto je použitý průměr kladky pro daný model dostačující.

3.2. Elektrická

Pohon modelu domovního výtahu

S pohonem modelu souvisela většina měření, proto je podrobněji popsán v samostatné kapitole 5. Jedná se o EC motor Servida 2315D.

Deska s řídicí jednotkou

Celou soustavu řídí procesor Atmel 89C51. Tento procesor připojuje napájecí napětí na motor a kontroluje, zda je sepnut snímač zavřených dveří. Dále kontroluje sepnutí spínačů maximální a nulové polohy.

Napájecí zdroj pro všechny obvody výtahu

Zdroj je spínáný s užitím obvodu LM2574V5 a je umístěn na desce s řídicí jednotkou. Před obvodem je umístěna dioda proti přepólování. Dále je na desce obvod MAX232 pro komunikaci s jednotkou motoru po RS232.

Desky jednotlivých pater

Komunikaci s řídicí jednotkou zajišťuje procesor 89C2051. Má na starosti rozsvěcování dat na displeji, kontrolu spínače dveří a spínání tlačítek. Zobrazování dat na displeji je řešeno převodníkem BCD na sedmissegmentový displej 74HCT4511.

Ovládací panel

Tato deska simuluje ovládací panel, který bývá umístěn uvnitř kabiny. Jsou na něm umístěna tlačítka pro jednotlivá patra a jejich stisknutí signalizují čtyři LED diody. Všechny události jsou předány řídicí jednotce.

Propojení jednotlivých elektrických částí

Řídicí jednotka je propojena s motorem. Programovatelný port motoru je propojen s portem procesoru v řídicí jednotce, propojení je realizováno dvoulinkou přes rozhraní RS232 a stínění dvoulinky je spojeno se zemí na straně řídicí jednotky. Elektrické spojení všech desek s řídicí jednotkou je realizováno přes šestnácti žilový kabel a konektory PSL. Propojení jednotlivých pinů je uvedeno v lit. [1] v Tab. 13.1.

3.3. Softwarová

Servomotor Servidy je naprogramován pomocí programového prostředí SMI, které je podrobně popsáno v lit. [1] a program, který byl vytvořen jako součást této diplomové práce je popsán v kapitole 6.

Program v procesoru kabiny (ovládací panel), program v řídicí jednotce a program v procesorech jednotlivých pater byly vytvořeny v assembleru a jejich funkce je popsána v lit. [1]. Tyto programy jsou pak spolu s programy motoru uloženy na příloženém CD. Program v řídicí jednotce musel být upraven kvůli změně snímačů polohy kabiny a důvod bude popsán v následujících kapitolách.

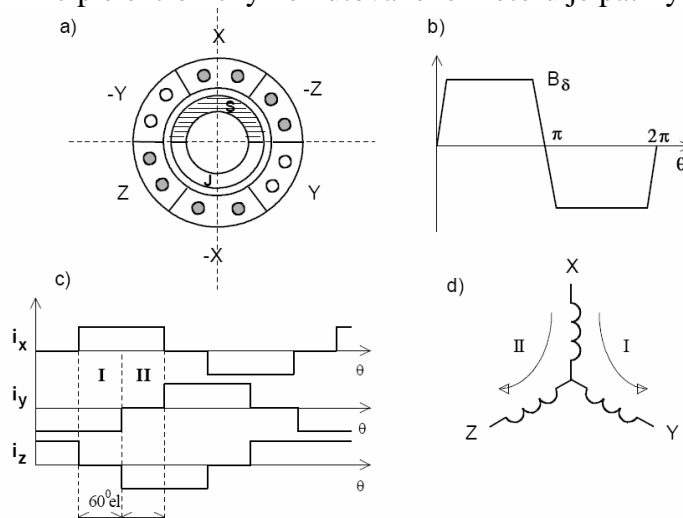
4. Elektronicky komutovaný motor

4.1. Princip EC motoru

Z důvodu jednoduchého řízení rychlosti napětím kotvy, byl stejnosměrný motor jako jediný vhodný pro polohové mechanismy, ale kvůli použití kluzného kontaktu mezi komutátorem a sběracími kartáči má řadu nevýhod.

Při provozu dochází k opotřebení kartáčů na komutátoru, sběrací ústrojí pak vyžaduje pravidelnou údržbu (čistění komutátoru, zabrušování kartáčů nebo jejich výměnu), u menších motorků se kartáče vyměnit vůbec nedají a to značně snižuje životnost motoru. Dále při vyšších otáčkách je vyšší napětí mezi jednotlivými lamelami komutátoru, které při větších prouděch způsobuje jiskření a pokud by proud nebyl omezen, mohlo by toto jiskření způsobit kruhový oblouk na komutátoru. Nevýhodou stejnosměrného motoru s permanentními magnety na statoru je také to, že všechny ztráty vznikají v rotoru (Jouleovy ztráty ve vinutí kotvy, ztráty v železe kotvy a ztráty na komutátoru). A vzhledem k tomu, že se servomotory vyrábějí jako zavřené (tj. bez přístupu chladicího vzduchu), tak se teplo odvádí pouze vedením přes stator a kostru a dále i přes hřídel motoru a spojku, čímž se otepluje např. velmi přesný pohonný mechanismus, jakým jsou kuličkové šrouby posuvů pracovních strojů. Proto byl vyvinut EC motor, který je v podstatě "obráceným" zvláštním typem synchronního motoru nazývaného též bezkartáčovým stejnosměrným motorem. Tyto motory řeší nedostatky stejnosměrných motorů tím, že komutace je zajištěna elektronicky. Tím není motor omezen životností sběracího ústrojí, což v důsledku značně zvyšuje životnost a snižuje poruchovost motoru.

Zatímco klasický stejnosměrný motor má magnety ve statoru a vinutí na rotoru, elektronicky komutovaný motor má magnety na rotoru a vinutí na statoru. Funkci komutátoru přebírá tranzistorový měnič, který podle polohy rotoru přepíná proud do jednotlivých statorových vinutí. Princip elektronicky komutovaného motoru je patrný z obr. 4.1.



Obr.: 4.1 Elektronicky komutovaný motor (Obr. převzat z lit. [5])

- a) řez motorem b) tvar indukce ve vzduchové mezeře
c) tvar proudů v závislosti na poloze rotoru d) schéma vinutí statoru

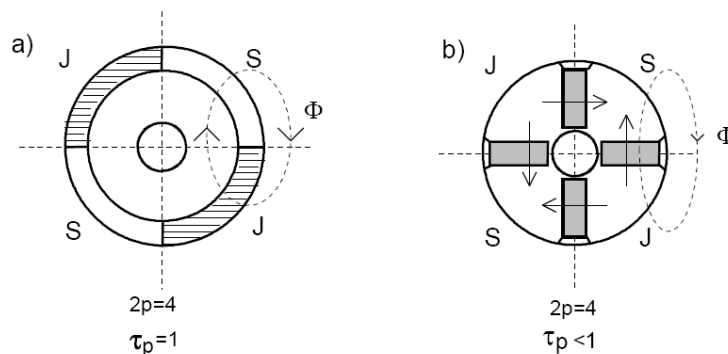
4.2. Konstrukce EC motoru

EC motor se skládá ze statoru, který se podobá standardnímu statoru třífázového asynchronního nebo synchronního stroje: v listěném statoru je v drážkách uloženo třífázové vinutí, statorové drážky jsou zešíkmeny zpravidla o jednu drážkovou rozteč z důvodu snížení reluktančních momentů, způsobených různou magnetickou vodivostí drážek (vzduch) a zubů (železo).

Rotor bývá konstrukčně uspořádán buď s magnety na povrchu, kdy nedochází ke koncentraci magnetického toku a magnetická indukce v mezeře odpovídá indukci permanentních magnetů, nebo s magnety vestavěnými uvnitř rotoru s koncentrací magnetického toku pólovými nástavci.

Oba konstrukční principy umístění magnetů jsou patrné z obr. 4.2 .

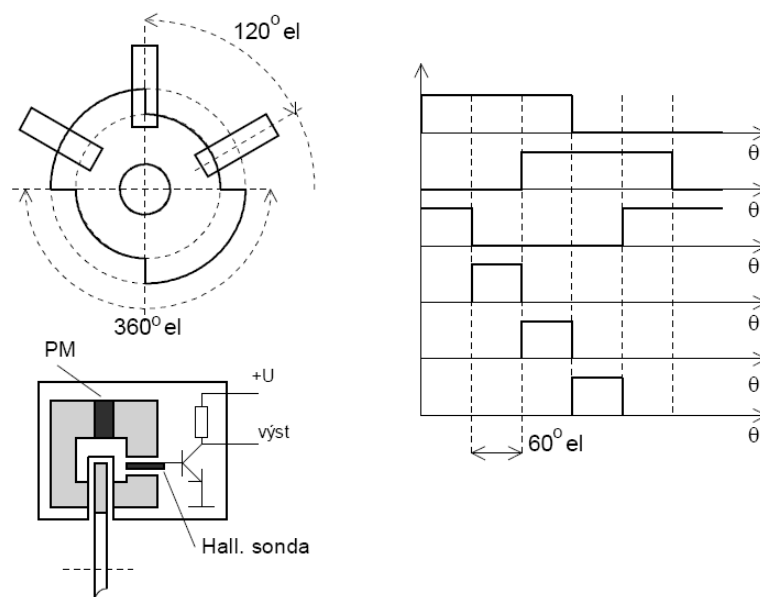
Jako magnetických materiálů se používá vzácných zemin (samarium - kobalt, neodym - železo - bor) nebo levnějších tvrdých feritů (Durox a pod.), které však nemají tak dobré magnetické vlastnosti. Kvalita permanentních magnetů se porovnává podle průběhu hysteresní křivky, zejména její tzv. demagnetizační části.



Obr.: 4.2 Konstrukce rotorů a) s magnety na povrchu b) s vestavěnými magnety
(Obr. převzat z lit. [5])

Z principu funkce elektronicky komutovaného motoru je zřejmé, že pro komutaci statorového stejnosměrného proudu do následujícího fázového vinutí potřebujeme snímat polohu rotoru, a to diskrétně vždy po 60 el. stupních. Součástí motoru je tedy snímač polohy rotoru, nejčastěji magnetický nebo fotoelektrický. Princip magnetického snímače polohy rotoru s Hallovými sondami pro čtyřpólový stroj je nakreslen na Obr.: 4.3, na němž jsou i průběhy tří výstupních signálů, jejichž dalším zpracováním v logických obvodech dostaneme povely pro komutaci proudu pro tři statorová vinutí.

Pro otáčkovou zpětnou vazbu je ve stroji vestavěno bezkartáčové elektronicky komutované tachodynamo, aby byla důsledně dodržena koncepce bezkontaktního provedení, které nevyžaduje údržbu a je podstatně spolehlivější. Bezkartáčové tachodynamo je opět elektronicky komutovaný stroj s permanentními magnety na rotoru, orientovanými souhlasně a s dostatečnou přesností s úhlovou polohou magnetů vlastního motoru.



Obr.: 4.3 Snímač polohy elektronicky komutovaného motoru s Hallovou sondou
(Obr. převzat z lit. [5])

4.3. Porovnání EC a DC motoru

DC motor

- + jednoduchá funkce a řízení, dokonce i bez elektroniky
- + nemá elektronickou část v motoru
- komutace pomocí kartáčů omezuje životnost motoru
- max. otáčky jsou omezeny komutací

EC motor

- + dlouhá životnost, vysoké otáčky
 - předepjatá kuličková ložiska
- + není jiskření na kartáčích
- ztráty ve statoru
- vyžaduje elektroniku pro chod
 - více kabelů
 - dražší
- elektronická část v motoru (Hallová čidla)

4.4. Matematický model EC motoru

Pro statorová vinutí platí za předpokladu $R_x = R_y = R_z = R$ soustava napěťových rovnic

$$u_x = R \cdot i_x + \frac{d}{dt} \Psi_x \quad (4.1)$$

$$u_y = R \cdot i_y + \frac{d}{dt} \Psi_y \quad (4.2)$$

$$u_z = R \cdot i_z + \frac{d}{dt} \Psi_z \quad (4.3)$$

kde $i_{x,y,z}$ jsou proudy vinutím statoru, $\Psi_{x,y,z}$ jsou spřažené magnetické toky.

Rovnice pro výpočet spřažených magnetických toků jsou

$$\Psi_x = L_x \cdot i_x + L_{xy} \cdot i_y + L_{xz} \cdot i_z + \Psi_{Bx}(\varphi), \quad (4.4)$$

$$\Psi_y = L_y \cdot i_y + L_{yx} \cdot i_x + L_{yz} \cdot i_z + \Psi_{By}(\varphi), \quad (4.5)$$

$$\Psi_z = L_z \cdot i_z + L_{zx} \cdot i_x + L_{zy} \cdot i_y + \Psi_{Bz}(\varphi), \quad (4.6)$$

kde $\Psi_{Bx}, \Psi_{By}, \Psi_{Bz}$ jsou periodické funkce s periodou 2π , s vzájemným posuvem mezi sebou o $2\pi/3$.

Pro vnitřní elektromagnetický moment platí vztah

$$M_i = i_x \cdot \frac{d\Psi_{Bx}}{d\varphi} + i_y \cdot \frac{d\Psi_{By}}{d\varphi} + i_z \cdot \frac{d\Psi_{Bz}}{d\varphi}, \quad (4.7)$$

kde M_i je elektrický moment a φ je úhel natočení.

Za předpokladu $L_x = L_y = L_z = L$ a pro danou polohu rotoru např.: $i_x = -i_y = i$, $i_z = 0$, $u_x - u_y = u_{xy} = U$ lze ze soustavy napěťových rovnic odvodit

$$U = 2Ri + 2L \frac{di}{dt} + \omega \frac{d\Psi_{Bx}}{d\varphi} - \omega \frac{d\Psi_{By}}{d\varphi}, \quad (4.8)$$

kde ω je úhlová rychlost.

V pracovní oblasti, kdy platí předchozí předpoklad, mají funkce $\Psi_{B_x}(\varphi)$, $\Psi_{B_y}(\varphi)$ lineární průběh, avšak s opačným sklonem. Jejich derivace mají tedy stejnou absolutní hodnotu, ale opačné znaménko. Proto lze absolutní hodnotu této derivace nahradit konstantou, která se nazývá napěťovou konstantou elektricky komutovaného motoru a značí se C_e . Díky tomuto zjednodušení lze rovnice (4.7) a (4.8) přepsat do tvaru:

$$U = 2Ri + 2L\frac{di}{dt} + 2C_e\omega \quad (4.9)$$

$$M_i = 2C_{em}i, \quad (4.10)$$

kde C_{em} je momentová konstanta EC motoru.

K rovnici (4.9) a (4.10) patří dále rovnice mechanické rovnováhy momentů:

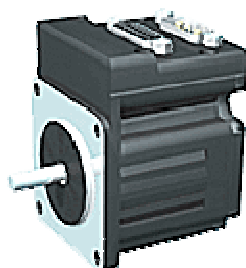
$$m = J\frac{d\omega}{dt} + M_o, \quad (4.11)$$

kde J je moment setrvačnosti a M_o je statický moment odporu.

Informace týkající se principu EC motoru, jeho konstrukce a matematický model byly čerpány z lit. [5].

5. Použitý EC motor

Pro model domovního výtahu byl použit motor od společnosti Northrop Grumman s typovým označením Servida 2315D viz. Obr.: 5.1. Tento motor představuje plně integrovaný a kompaktní servosystém s polohovou regulací.



Obr.: 5.1 Servida 2315D (Obr. Převzat z www.servida.com)

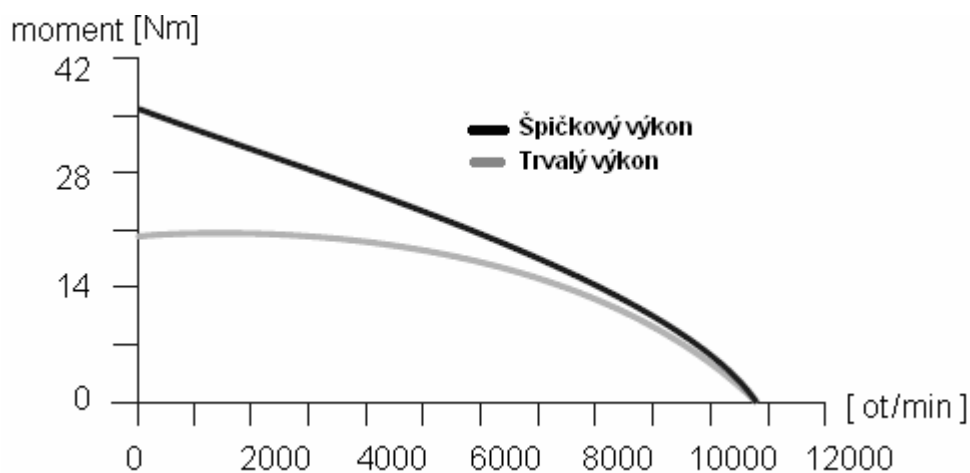
Tento pohon je složen z EC motoru, programovatelné řídicí jednotky, servozesilovače a paměti na uložení programu a dat. Komunikačním rozhraním je RS 232, zapojení vstupních a výstupních konektorů je uvedeno v literatuře [1] a [6].

Druhy pracovních režimů a způsob řízení

Motor může pracovat v rychlostním, polohovém nebo momentovém režimu a lze ho řídit nástupnou či sestupnou hranou nebo pulsy inkrementálního čidla pohonu, který pracuje jako master.

Tab.: 5.1 Katalogové hodnoty motoru (data převzata z [6])

Typ	bezkartáčový stejnosměrný
Trvalý kroučící moment	0,198 N.m
Špičkový kroučící moment	0,353 N.m
Momentová konstanta	2,94 N.cm/A
Výkon	130 W
Maximální rychlost	10786 ot/min
Napájecí napětí	24 – 48 V
Napěťová konstanta	4,45 V/k(ot/min)
Odpor vinutí	1Ω
Moment setrvačnosti rotoru	$7 \cdot 10^{-6}$ kg.m ²
Počet pólů rotoru	8
Počet drážek statoru	12
Průměr hřídele	6,35 mm
Výška	57,2 mm
Hloubka	58,4 mm
Váha	0,45 kg

Momentová charakteristika motoru:

Obr.: 5.2 Momentová charakteristika motoru Servida 2315D

Tab.: 5.2 Parametry řídicí jednotky (data převzata z lit. [1])

Snímače	
Snímač pro komutaci	3 hallové sondy
Snímač polohy	optický enkodér - 2000 impulzů/(ot/min)
Řídicí zesilovač	
PWM	10 bitové
Měnič	3 fázový MOSFET můstek
Ovládací jednotka	
Programová paměť	32kB
Datová paměť	8kB
Doba jednoho cyklu	250 μs
Registr polohy a rychlosti	32 bitový znaménkový integer
Počet komunikačních portů	2x RS 232
Počet vstupů/výstupů	7x analogovo/digitální
Typ digitálních vstupů/výstupů	TTL
Max. proud log. 0	15 mA
Max. proud log. 1	4 mA
A/D převodník	10 bitový
Počet adresovatelných motorů	100
Max. počet podprogramů	1000
Typ kódu	C/Basic

5.1. Připojení motoru Servida 2315D k modelu

5.1.1. Napájecí zdroj

- výrobce doporučuje, nepoužívat spínané napájecí zdroje
- připojovací napájecí vodiče mají být chráněna pojistkou
- napájecí napětí nesmí překročit hodnotu 48V_{ss}

Pro maximální moment motoru musí dodat zdroj proud 12A a pro stálý moment 6,7A.
Pro výpočet proudu platí vztah:

$$I = \frac{M}{K_t}, \quad (5.1)$$

kde M je moment motoru v Nm potřebný pro danou aplikaci a K_t je momentová konstanta motoru $K_t=0,0294\text{Nm/A}$.

Velikost napájecího napětí ovlivňuje maximální otáčky motoru. Napájecí napětí by mělo být zvoleno tak, aby bylo dostatečně velké i pro dvojnásobně větší otáčky, než vyžaduje aplikace. Pro výpočet napětí, které je zapotřebí pro dané otáčky platí vztah:

$$U = K_v \cdot n, \quad (5.2)$$

kde K_v je napěťová konstanta motoru $K_v = 0,00445 \text{ V/(ot/min)}$ a n ot/min jsou potřebné otáčky

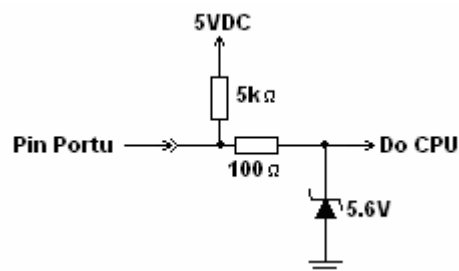
Pro napájení motoru je nutné k vypočítanému napětí U[V] přičíst úbytek napětí na elektronice, který je přibližně 2V.

5.1.2. Správné elektrické propojení

Důležité je zamezení vzniku zemních smyček na komunikačních linkách. Při práci s jedním motorem je nutné odizolovat zemní kolík PC, nebo napájecí zdroj. Pro práci s více motory se musí zajistit správná izolace komunikačních linek mezi jednotlivými motory.

Zamezit se musí i vzniku zemních smyček na vstupech/výstupech. Pro napájení čidel se tedy musí použít hlavní napájecí zdroj nebo 5V napájení na portu motoru.

Digitální vstupy/výstupy řídicí jednotky, které musí být zapojeny viz. Obr.: 5.3 jsou postaveny na TTL logice:



Obr.: 5.3 Zapojení jednoho digitálního vstupu/výstupu

5.2. Mechanické vlivy, vliv teploty a okolí na motor

Motor je navržen na radiální zatížení, axiální zatížení by mohlo motor poškodit, především by mohlo dojít k poškození ložisek motoru, proto se motor nepoužívá pro nesení zátěže, ale k přenosu kroutícího momentu.

Motor není určen do prostředí s vysokou okolní teplotou a velkou vlhkostí, proto motor nesmí být vystaven vlivu kapalin a teplotám přesahujících 70°C.

Katalogové parametry motoru jsou stanoveny pro teplotu okolí 27°C. Trvalý kroutící moment motoru s rostoucí teplotou okolí klesá viz **Tab.: 5.3**.

Tab.: 5.3 Vliv teploty okolí na moment motoru

Teplota okolí [°C]	Trvalý kroutící moment [%]-nominální hodnoty
0-10	133
15	126
20	112
25	100
30	89
35	79
40	71
45	63
50	56
55	50
60	45
65	40

6. Program a model výtahu

Program pro ovládání výtahu byl již vytvořen a popsán v lit. [1]. V této práci byl program nahrazen novým programem a to tak, aby ho bylo možné použít pro jednotlivá měření.

6.1. Program použitý pro měření

Po zapojení modelu do sítě naběhnou řídicí jednotky modelu, jednotlivých pater a kabiny. Řídicí jednotka modelu spíná napájení motoru a tudíž i řídicí jednotku motoru. Ta pak následně ovládá řízení pohonu a komunikuje současně s řídicí jednotkou modelu. Řídicí jednotka motoru ovládá pouze otáčky motoru v závislosti na rychlostním, momentovém nebo polohovém režimu.

Po zapnutí řídicí jednotky motoru se vykoná následující funkce: nastaví se max. proud a oteplení motoru a motor se pak přepne do rychlostního režimu, nastaví zrychlení $A=100$ a roztočí motor rychlostí $V=100\ 000$ (to odpovídá 279,4 ot/min), což má za následek, že kabina začne vykonávat pohyb směrem dolů. Znaménko za V-velocity udává směr otáčení motoru. Po dosažení nulového spínače umístěného pod prvním patrem program vyhodnotí tuto situaci a přepne se do polohového režimu a současně této pozici přidělí polohu 0. Následně motor zdvihne kabinu do polohy $P=1000$, pak čeká $WAIT=8000$ (což jsou dvě vteřiny). Po tomto bodě začíná předem definovaný pohyb výtahu mezi prvním a třetím patrem a to ve třech stejných cyklech za použití náběhové a doběhové rampy. V případě, že motor není přetížen, měl by držet definované rychlosti a polohy. V případě, že se kdykoliv otevrou dveře, vyhodnotí se to jako chyba a celý cyklus i s hledáním nulového bodu začne znova. Důvod pohybu kabiny ve třech stejných cyklech bude vysvětlen v kapitole 8.

Program použitý pro měření a popsání jeho jednotlivých částí je uveden v příloze 14.1.

6.2. Program simulující reálný výtah

Program řídicích jednotek

Program řídicích jednotek byl ponechán, jediná změna byla provedena v procesoru Atmel 89C51 kvůli změně snímačů polohy. Původní mechanický spínač předával informaci o průjezdu kabiny tím, že byl sepnut. Nové senzory (optické brány), které byly použity, jsou sepnuty stále a rozpojí se při průjezdu kabiny patrem. Proto musel být v procesoru invertován vstup.

Program motoru

U původního programu byla nevhodně zvolena nulová poloha výtahu, která byla nad posledním patrem. Výtah by při poruše vyjel nahoru do nulové polohy, což by pro reálný výtah, u kterého by například došlo k požáru, nebylo vhodné. Z bezpečnostních důvodů byla tedy nulová poloha v programu přesunuta pod spodní patro.

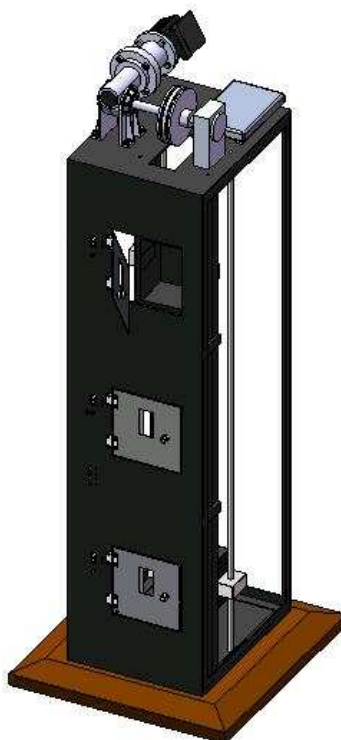
Program simulující reálný výtah je přiložen na CD.

6.3. Model výtahu

Součástí diplomové práce je vytvoření 3D modelu domovního výtahu v CAD systému SolidWorks.

Model byl vytvořen ve verzi SolidWorks 2007. V tomto programu byly namodelovány jednotlivé součásti (např. části protizávaží a kabiny, vodící tyče, šachta, motor, tlačítka, dvířka, panty dvířek, šrouby atd.), které pak byly v programu mezi sebou provázány, a tím vznikl celý model výtahu tak, aby částečně simuloval funkce výtahu, kterými se tato práce zabývá (otvírání dveří, pohyb kabiny a protizávaží).

3D model domovního výtahu, jeho jednotlivých navržených součástí a video jsou přiloženy na CD. Na Obr.: 6.1 je pro názornost uveden celkový pohled na model.



Obr.: 6.1 3D model, který byl vytvořen v CAD systému SolidWorks

Tento model byl vytvořen ve spolupráci se studentem FEKT VUT Tomášem Kutruczem.

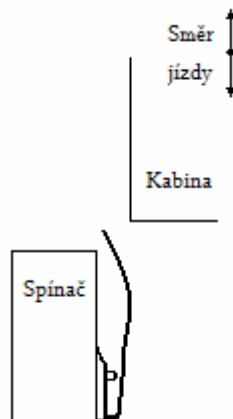
7. Snímače polohy kabiny

Mikrospínače mají v modelu více funkcí: snímají aktuální polohu výtahu, kontrolují, ve kterém patře se nachází kabina, a zároveň první a poslední spínač slouží jako ochrana před nárazem kabiny do dna či stropu modelu. Některé poznatky této kapitoly jsou převzaty z literatury [7].

7.1. Použité mechanické mikrospínače

Při oživení modelu a kontrole funkčnosti se objevil následující problém s použitými mechanickými mikrospínači:

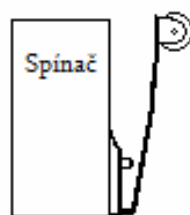
Použité spínače se zaoblením viz. Obr.: 7.1 jsou vhodné pro spínání v jednom směru. Jakmile kabina najížděla na spínač z druhé strany, docházelo k jeho deformaci a při delším provozu modelu vedla tato deformace k chybě a následnému zastavení modelu.



Obr.: 7.1 Mikrospínač se zaobleným spínacím mechanismem

Tento problém se netýkal prvního a posledního spínače. Přes tato čidla kabina úplně neprojíždí, protože když na ně model najede, tak řídicí jednotka dostane povel k automatickému zastavení výtahu. Sepnutí spínače vyhodnotí tuto událost jako překročení max. momentu, motor vypne a nastaví chybové hlášení *Flags Peak Over Current*. Při této události je nutno kabinu odsunout z čidla a při opětovném zapnutí výtah sjede do nulové polohy.

Proto u koncových čidel stačí použít jednosměrné mikrospínače s kolečkovým zakončením viz. Obr.: 7.2, jen je potřeba brát v úvahu životnost mechanicky namáhaného kontaktu.



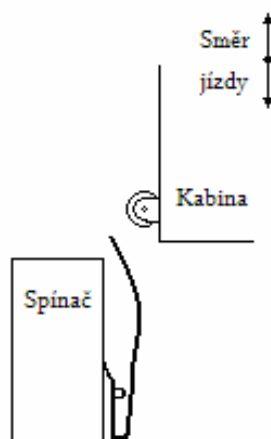
Obr.: 7.2 Mikrospínač s kolečkovým zakončením

7.2. Možnosti nahrazení spínačů

7.2.1. Mechanické varianty

Umístění kolečka na kabinu

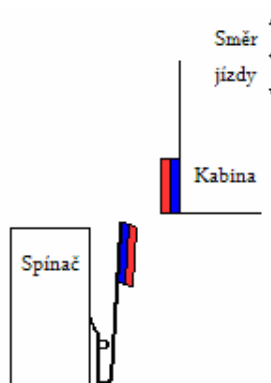
Jedním z možných řešení problému by mohlo být umístění kolečka na kabinu viz. Obr.: 7.3, aby nedocházelo k deformaci plechu spínače při najíždění kabiny v opačném směru. Toto řešení je však pro tento model nevhodné vzhledem k tomu, že pro umístění kolečka není v tomto modelu dostatek místa a také by se stále jednalo o mechanické spínání, což by vedlo k nižší životnosti spínače a následnému snížení spolehlivosti modelu.



Obr.: 7.3 Kabina vybavená kolečkem

Mikrospínač s bezkontaktním magnetickým spínáním

Další variantou bylo nalepení magnetů na kabinu a na mechanický spínač, tak aby byly k sobě otočeny stejnou polaritou viz. A. Při průjezdu kabiny by se magnety odpuzovaly a došlo by tak k sepnutí spínače.

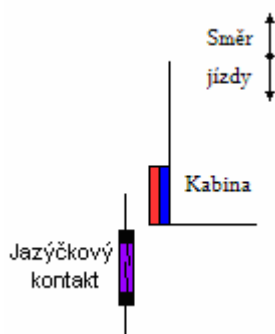


Obr.: 7.4 Mikrospínač s magnetickým bezkontaktním spínáním

Toto řešení nebylo realizováno, protože nebyl k dispozici magnet vhodných rozměrů a při použití většího magnetu docházelo k mechanickému poškození páky na čidle.

7.2.2. Jazýčkový kontakt

Jako jedno z vhodných řešení se jevílo použití jazýčkového kontaktu viz. Obr.: 7.5. Montáž byla jednoduchá, jazýčkový spínač se namontoval místo stávajícího mechanického spínače a na kabinu se přilepil magnet.



Obr.: 7.5 Jazýčkový kontakt

Po zprovoznění modelu a kontrole funkčnosti se narazilo na následující problémy:

- osmissegmentové panely v jednotlivých patrech často neukazovaly správnou polohu výtahu
- výtah v průběhu chodu samočinně jezdil v random režimu
- výtah v libovolném bodě detekoval chybu a začal hledat nulovou polohu

Jelikož nastaly tyto problémy s činností modelu, musela se najít příčina chyb, které způsobovaly toto nelogické chování. Nejdříve proběhla kontrola softwaru v řídicích jednotkách, která je psána v assembleru. Ani po konzultaci s informatikem se nenašla chyba v této části. Závada se nenašla ani v řídicí jednotce motoru, která je psána v programovacím jazyce basic. Závada, která způsobovala chyby byla nakonec objevena v jazýčkových kontaktech.

Snímače, při průjezdu kabiny s magnetem, reagovaly na náběžnou i doběhovou hranu magnetu.

Feritové magnety, na které snímače reagují, se nevyrábí v dostatečné délce, aby vytvořily požadované magnetické pole a proto muselo být použito více magnetů složených podélně. Výsledný efekt byl ten, že jazýčkový kontakt spínal vícekrát a občas i zarezoval, což mělo za následek generování rušivých signálů do řídicí jednotky modelu a následné narušení algoritmu. Aby se tento problém odstranil, bylo navrženo použití optické brány jako čidla polohy.

7.2.3. Indukční a kapacitní spínače

Jedním z nejlepších řešení by bylo použití indukčních spínačů. Toto řešení je však pro tuto úlohu nevhodné vzhledem k vysoké pořizovací ceně snímačů pohybující se v tisících korun, proto je zde uvedeno jen jako jedno z možných řešení.

Indukční čidla jsou bezdotyková, z toho vyplývá, že nepodléhají opotřebení, což teoreticky zaručuje neomezenou dobu životnosti. Tato čidla jsou velmi jednoduchá, přesná, netečná proti znečištění a mají velmi široké použití. Jsou odolná proti zkratu a přepólování a proti extrémním podmínkám.

Mezi nevýhody bych zahrnul malý pracovní rozsah, z něhož vyplývá krátký dosah. Další nevýhodou je vzájemné ovlivňování více spínačů a možnost ovlivnění zdrojem magnetického pole.

Indukční snímače bývají založeny na principu vířivých proudů: střídavé magnetické pole vyvolává v materiálu s rezistivitou ρ a permeabilitou μ sekundární (odražené) magnetické pole, působící proti poli, které jej vyvolalo a tato změna je snímačem vyhodnocena.

Princip indukčního snímače je založen na vzájemném působení mezi kovovými vodiči a střídavým elektromagnetickým polem. V kovovém snímaném tlumícím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z pole a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je indukčním snímačem vyhodnocena.



Obr.: 7.6 Indukční spínač firmy ABB

Kapacitní snímače

Kapacitní snímače pracují na podobném principu jako snímače indukční. Předmět, který pronikne do elektrického pole před plochami elektrod způsobí zvýšení vazební kapacity, která je snímačem vyhodnocována.

Bohužel i jejich cena je podobná jako u kapacitních snímačů, proto na modelu nebyly použity.



Obr.: 7.7 Kapacitní spínač firmy ABB

7.2.4. Optická brána

Optická brána je řešení, kterým jsme nahradili jazýčkové kontakty. Tato varianta se jeví jako nejvhodnější, protože se jedná o bezkontaktní spínání a přijatelná je i cena senzorů, která se pohybuje okolo 20,- Kč za kus.

Funkce optické brány je následující:

Na kabinu je umístěna přepážka po celé její délce. V jednotlivých patrech jsou umístěny optické brány, a to přesně v těch bodech, kde předtím byly mechanické mikrospínače. Principiálně funkce zůstává stejná jako u mechanických spínačů, jen je nutno k čidlům přivést napájecí napětí 5V.

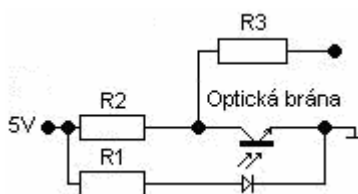
Optická brána je řešena tak, aby nedocházelo vlivem vnějších jevů k poruše, a to zejména vlivem proměnného osvětlení optické brány vnějšími zdroji světla. Aby se tomuto nežádoucímu jevu předešlo, bylo nutno zvolit optickou bránu pracující na vlnové délce, která spadá do infračerveného spektra. Pro tyto účely byl z dostupných produktů na českém trhu vybrán výrobek firmy Vishay semiconductors, a to světelná závora TCST 2103 viz. Obr.: 7.8.

Světelná závora TCST 2103

Světelná závora s příchýtkami, mezera 3.1mm, $I_f=20\text{mA}$, $U_{ce}=70\text{V}$, $I_c=0,1\text{A}$
Světelná závora pracuje na vlnové délce 950nm.



Obr.: 7.8 Světelná závora TCST 2103



Obr.: 7.9 Schéma zapojení optické brány

Zapojení nahrazuje klasický mechanický spínač. V případě, že mezi bránou není přepážka, napětí 5V je přímo svedeno do země. V případě, že je mezi bránou přepážka, tranzistor nesepe a napětí 5V spíná TTL obvod.

Výsledek použití optických čidel

Nahrazením spínačů optickou bránou se podařilo odstranit všechny problémy, které byly jak u mechanických spínačů, tak u jazýčkových kontaktů a tím se zmenšila poruchovost celého modelu. Při využití optických senzorů bylo nutné upravit program v řídicí jednotce, protože mechanická čidla se při průjezdu sepínala, zatímco optická brána je sepnuta stále a rozepne ji až průjezd kabiny. Proto pro správnou funkci čidel bylo nutné v řídicí jednotce invertovat jejich vstup.

8. Experimentální měření pohonu

Na modelu bylo provedeno měření otáček, statické měření wattmetrem Yokogawa WT1600-S a dynamické měření pomocí osciloskopu s proudovou sondou. Způsoby měření a jejich vyhodnocení jsou popsány v následujících podkapitolách.

8.1. Statické měření

Kvůli statickému měření byl upraven program modelu, jak již bylo popsáno v kapitole 6.1. Cílem je změřit příkon pohonu při ustálené rychlosti kabiny a protizávaží.

Výtah tedy jezdí bez zastavení mezi prvním a třetím patrem a to po dobu tří cyklů. Příkon se měří při průchodu kabiny prostředním patrem a z těchto tří hodnot se vypočítá průměrná hodnota, aby se zvýšila přesnost měření.

Měřící přístroje:

- Wattmetr Yokogawa WT 1600 760101-S15 v.č.: 91FB10082 viz. Obr.: 8.1
- Digitální tachometr DT-2236

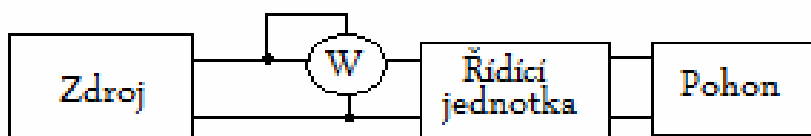


Obr.: 8.1 Wattmetr Yokogawa

Měřící přístroj Yokogawa WT 1600 byl připojen přímo mezi napájecí zdroj a model výtahu tak, že měřil spotřebu celého pohonu včetně řídicích jednotek výtahu a řídicí jednotky motoru SERVIDA.

Manuál a katalogové údaje jsou ke stažení na stránkách výrobce www.yokogawa.com.

Připojení měřícího přístroje k modelu pro měření příkonu je na Obr.: 8.2 .



Obr.: 8.2 Připojení wattmetru k modelu

8.1.1. Měření napájecího napětí a příkonu

Před prvním statickým měřením příkonu se zatěžováním kabiny se změřily příkony řídicích jednotek a napájecí napětí ze zdroje. Napájecí napětí zdroje $U_z = 24,06 \text{ V}$.

Po připojení zdroje k modelu byl změřen příkon s odpojeným pohonem a tím se změnil příkon samotné řídicí jednotky $P_{\ddot{r}} = 3,61 \text{ W}$.

Po připojení pohonu se provedlo nové měření. Naměřená hodnota se zvýšila o příkon řídicí jednotky motoru na hodnotu $P_n = 7,89 \text{ W}$. Tato hodnota odpovídá příkonu v pohotovostním režimu a z ní lze spočítat spotřebu modelu v pohotovostním režimu za den W_n , viz. rce. (8.1).

$$W_n = P_n \cdot 24 = 189,36 \text{ Wh} \quad (8.1)$$

Poté co výtah vykonal pohyb dle programu, byl změřen příkon $P_u = 17,52 \text{ W}$, který zahrnuje příkon pohonu, řídicích jednotek a příkon potřebný na udržení výtahu v dané pozici.

8.1.2. Vliv protizávaží na příkon EC motoru

Pro jednotlivá měření se měnilo zatížení kabiny, a to tak, že se do kabiny přidávalo normované laboratorní závaží v rozmezí 0,5 až 3,5 kg.

Statickým měřením se myslí změření okamžité hodnoty příkonu při ustálené rychlosti kabiny. Příkon byl měřen v okamžiku, kdy výtah projížděl druhým patrem a předpokládala se konstantní rychlost kabiny.

Toto měření není zcela přesné, i když jsme použili velmi přesný měřicí přístroj Yokogawa, protože čas ve kterém se odečítala hodnota z wattmetru závisel na okamžiku, kdy měřicí usoudil, že se výtah nachází přesně ve druhém patře.

Při tomto měření se pomocí změny poměru hmotnosti kabiny k protizávaží, hledal stav, kdy má systém co nejmenší spotřebu. Tento stav by měl být naměřen při nejmenším zatížení motoru a to by mělo odpovídat stavu, kdy je hmotnost kabiny stejná jako hmotnost protizávaží, tedy při zatížení kabiny hmotností 2,2 kg. Při vyvážení kabiny a protizávaží by měl naměřený příkon odpovídat příkonu řídicích jednotek. Ve skutečnosti dostaneme po odečtení příkonu řídicí jednotky příkon, který vyjadřuje mechanické ztráty motoru, ztráty v převodovce a ztráty na vedení kabiny a protizávaží.

V průběhu prvního měření se výtah zasekl. Porucha byla způsobena tím, že se při předešlých úpravách navrtávala ložiska kabiny, aby kabina lépe klouzala po kolejnicích, tím se však snížila vodící plocha. Následkem špatného vedení začaly průvodní tyče rezonovat a kabina se zapřela, čímž způsobila prudký nárůst proudu v motoru. Po překročení mezní hodnoty proudu logická jednotka odpojila výtah od zdrojů napětí a tím model zastavila.

Z toho je patrné, že vedení kabiny a protizávaží je nevhodné a porucha by se mohla opakovat, proto byla provedena nezbytná úprava vodícího mechanismu, která je popsána v kapitole 9.

Po prvním měření se tedy musely lépe upevnit kolejnice a poté bylo provedeno druhé měření.

Tab.: 8.1 Příkon motoru při změně zatížení kabiny pro první měření

Hmotnost závaží [kg]		1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	Průměr [W]
0	Nahoru [W]	29				29
	Dolů [W]	64				64
	Spotřeba [mWh]	273				
0,5	Nahoru [W]	28	29,1			28,55
	Dolů [W]	54	52			53
	Spotřeba [mWh]	239	242			
1	Nahoru [W]	30,4	29,2	29,1		29,56
	Dolů [W]	50	46,6	47,7		48,1
	Spotřeba [mWh]	229	222	223		
1,5	Nahoru [W]	27,3	26,2	25,5		26,3
	Dolů [W]	39,6	36,9	37,7		38,06
	Spotřeba [mWh]	196	195,7	193		
2	Nahoru [W]	29,3	29,4	27,9	28,05	28,54
	Dolů [W]	32	31,9	31,5	31,7	31,488
	Spotřeba [mWh]	184	182,2	182	177,5	
2,5	Nahoru [W]	33	30,9	30,55	31,06	31,37
	Dolů [W]	25,2	24,8	24,63	24,42	24,7625
	Spotřeba [mWh]	176	170	175,6	176,1	
2,75	Nahoru [W]	31,76	30,96	30,56	31,19	31,12
	Dolů [W]	22,29	22,5	21,99	21,82	22,15
	Spotřeba [mWh]	165	170	164	163	
2,85	Nahoru [W]	31,46	32,87	32,1		32,14
	Dolů [W]	22,25	21,74	22,29		22,09
	Spotřeba [mWh]	167	166	167		
3	Nahoru [W]	38,68	39,4	39,37		39,15
	Dolů [W]	24,12	23,31	24,11		23,85
	Spotřeba [mWh]	195	190	191		
3,5	Nahoru [W]	42,07	42,19	41,35	42,17	41,95
	Dolů [W]	21,34	20,64	20,79	20,87	20,85
	Spotřeba [mWh]	195	195	195	196	

Z měření vyplývá, že nejmenší spotřeba byla zjištěna v případě, kdy bylo do kabiny vloženo závaží o hmotnosti 2,75kg, což neodpovídá předem vypočítané hodnotě. Model by měl mít nejmenší spotřebu při vyvážení kabiny a protizávaží a to by mělo být při zatížení kabiny hmotností 2,2kg.

Tab.: 8.2 Výsledky příkonů z druhého měření

Hmotnost závaží [kg]		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
0	Nahoru [W]	20	20,34	20,26	20,200
	Dolů [W]	47,2	47,2	47	47,133
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	636			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
0,5	Nahoru [W]	21,21	21,1	21	21,103
	Dolů [W]	42	41,4	41	41,467
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	586			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
1	Nahoru [W]	22,56	22,22	21,65	22,143
	Dolů [W]	37,06	36,8	35,88	36,580
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	544			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
1,5	Nahoru [W]	24,7	24,63	24,34	24,557
	Dolů [W]	32,91	33,33	33,55	33,263
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	533			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
2	Nahoru [W]	27,18	27,85	27,33	27,453
	Dolů [W]	30,52	30,73	30,23	30,493
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	528			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
2,2	Nahoru [W]	28,95	29,47	28,86	29,093
	Dolů [W]	26,6	28,08	26,71	27,130
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	511			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
2,25	Nahoru [W]	29,53	29,16	29,06	29,250
	Dolů [W]	27,42	27,44	26,16	27,007
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	510			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
2,5	Nahoru [W]	31,87	32,02	31,88	31,923
	Dolů [W]	27,35	26,75	26,49	26,863
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	533			
		1. měření	2. měření	3. měření	Průměr [W]
3	Nahoru [W]	39,64	38,68	39,38	39,233
	Dolů [W]	26,14	25,55	25,5	25,730
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	580			

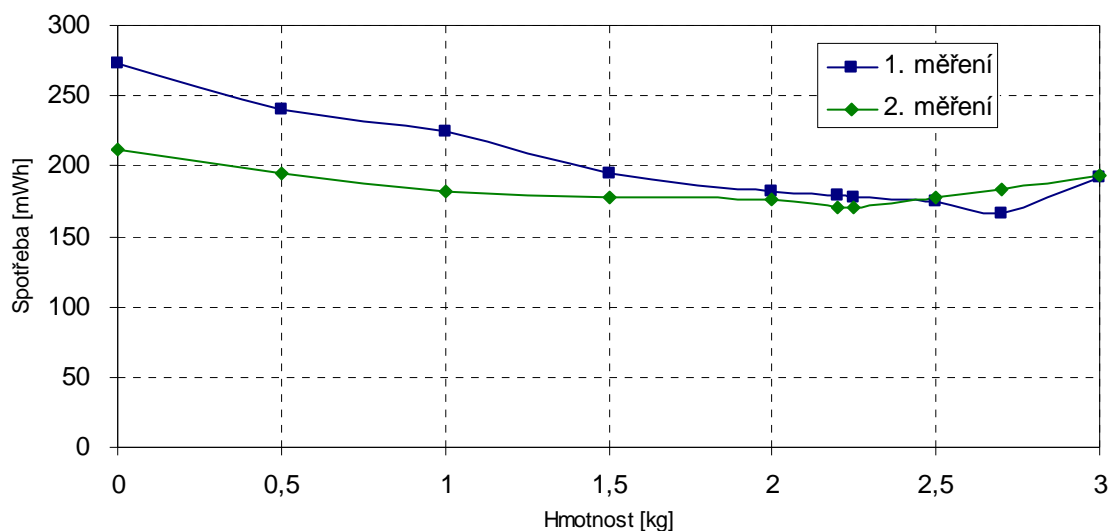
Po manipulaci s vodícími tyčemi bylo provedeno nové měření, aby se zjistil vliv vodících tyčí na spotřebu motoru. Oproti prvnímu měření kde se spouštěl každý cyklus zvlášť, se u druhého měření upravil program tak, aby kabina rovnou vykonala tři cykly. Měřila se spotřeba za tři cykly a příkon se měřil při každém průjezdu kabiny druhým patrem. Při druhém měření bylo zjištěno, že minimální příkon odebírá soustava při zatížení kabiny hmotností 2,25kg, což se již více blíží předpokládané hodnotě 2,2kg.

Porovnání statických měření

Porovnáním jednotlivých měření se dá zjistit, jak velký vliv mají na měření vodící tyče.

Tab.: 8.3 Porovnání spotřeby ze statického měření pro jeden cyklus

Hmotnost závaží kabiny [kg]	1. měření [mWh]	2. měření [mWh]	Rozdíl [mWh]	Rozdíl [%]
0	273,00	212,00	61,00	22,34
0,5	240,50	195,33	45,17	18,78
1	224,67	181,33	43,33	19,29
1,5	194,90	177,67	17,23	8,84
2	181,42	176,00	5,42	2,99
2,5	174,43	177,67	3,24	1,86
3	192,00	193,33	1,33	0,69



Obr.: 8.3 Spotřeba energie v závislosti na zátěži v kabině

V jednotlivých tabulkách jsou uvedeny průměry naměřených hodnot pro dané zátěže, které jsou vykresleny do grafu.

Z tabulky a grafu je vidět velký rozdíl mezi prvním a druhým měřením a to v rozmezí 0,69 až 22,34%. Z toho je patrné, že nepřesnost měření způsobená nevhodným vedením kabiny a protizávaží je více než 20%.

Na měření má kromě mechanického nedostatku modelu vliv i chyba při odečtení naměřené hodnoty z přístroje, ale ta je díky opakovanému měření proti mechanické chybě zanedbatelná.

Naměřené hodnoty příkonů se pohybovaly v rozmezí 20–65W a odběr řídicích jednotek, který byl naměřen při zastaveném motoru je 7,89W. Při 20W, tedy při vyvážení kabiny a protizávaží, spotřebuje model více než 36% příkonu na řízení motoru.

8.2. Dynamické měření

Měřicí přístroje a příslušenství:

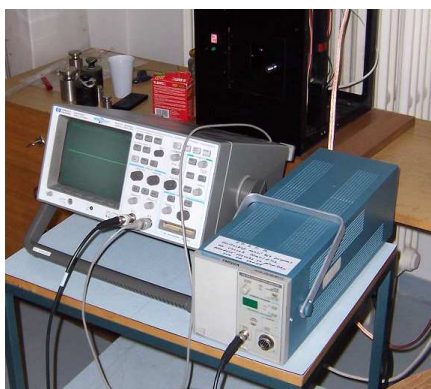
- Osciloskop HP 54645D
- Proudová sonda Textronix - TM502A
 - zesilovač AM 503B
 - kleště 100A A6303

Pomocí osciloskopu HP 54645D s proudovou sondou a kleštěmi 100A viz. Obr.: 8.4 se zaznamenávaly napětí – kanál 1 a proudy kanál 2 odebírané motorem při různém zatížení po dobu jednoho cyklu. Připojení osciloskopu pro dynamické měření je znázorněno na Obr.: 8.5.

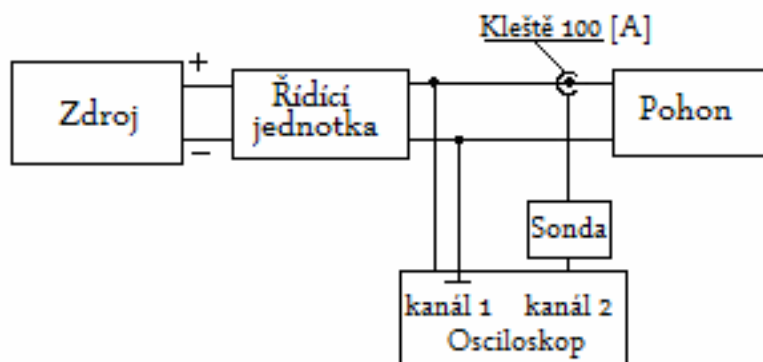
Výsledky měření z osciloskopu se nahrály do počítače, kde byly převedeny do vhodného formátu. Data z měření mají 1milion hodnot, proto tato data musela být dále upravena.

Aby se výsledky měření daly porovnat s hodnotami ze statického měření, musí být přepočítány na výkon. Vypočtený výkon odpovídá příkonu pohonu, proto bude dále označován jako příkon.

Zpracované a upravené výsledky se pak porovnávaly s výsledky ze statického měření.



Obr.: 8.4 Osciloskop se zesilovačem TMS02A



Obr.: 8.5 Připojení osciloskopu k modelu

8.2.1. Úprava naměřených dat

Naměřená data, která jsme získali z osciloskopu, byla příliš velká. Každá naměřená veličina měla 1 milion hodnot, přičemž například Microsoft Excel umí pracovat jen s 36 tisíci hodnotami. Bylo tedy nezbytné je nejdříve upravit. Data lze upravit mnoha způsoby a v mnoha různých programech. Zde je uveden pouze jeden způsob úpravy, a to v programu Matlab, který byl pro naše potřeby naprosto vyhovující a nebylo tedy třeba úprav v jiných programech.

8.2.2. Popis programu na úpravu naměřených dat

Na úpravu hodnot byl použit program na práci s maticemi Matlab. Do programu byla data nahrána a v něm po úpravě vykreslena. Z milionu hodnot se pomocí jednoduchého programu vybrala každá padesátá hodnota a uložila se do nové matice. Data po úpravě měla 20 tisíc hodnot a s těmi již není problém pracovat. Hodnoty z osciloskopu tvořily 4 sloupce, kde první a třetí sloupec odpovídaly stejné časové ose, proto byly sloučeny do jednoho sloupce.

Rozdělená a upravená data byla poté vyfiltrována.

Program

Byl spuštěn Matlab, ve kterém byl otevřen soubor s daty z osciloskopu. Po otevření souboru se vytvoří matice s názvem data, kterou pomocí tohoto programu upravíme. Program pro úpravu je uveden v příloze 14.2.

Data se upraví tak, že se pomocí smyčky vezme každá padesátá z naměřených hodnot, která se uloží do nové matice.

Tato nová matice je řádková, proto se převede na sloupcovou. Tímto dostaneme novou matice s 20ti tisíci hodnotami, které již umíme vykreslit. Proud byl na osciloskopu zaznamenáván v poměru 1A na dílek. Proto matici proudu vynásobíme vhodným koeficientem, abychom dostali hodnoty v jednotkách SI. Poté příkazem smooth data vyfiltrujeme a vykreslíme naměřené napětí a proudy v závislosti na čase.

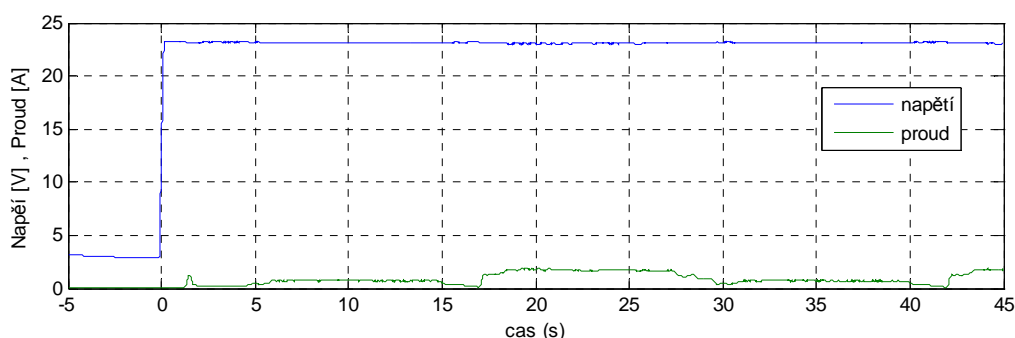
Pro výpočet příkonu mezi sebou vynásobíme matici napětí a proudu a příkon v závislosti na čase opět vykreslíme do grafu.

8.2.3. Data z dynamického měření

Postupem popsaným výše jsme získali grafy potřebné pro porovnání dynamických a statických měření. Z těchto dat je patrné, jak se mění příkon se změnou závaží v kabině při jízdě kabiny nahoru a dolů.

Výsledky bez přidaného závaží v kabině

Na Obr.: 8.6 jsou data z měření, osciloskop vykresloval napětí a proud do jednoho grafu, obě data byla čitelná, protože proud byl zaznamenáván v poměru 1A na dílek a napětí bylo zaznamenáváno v poměru 10V na dílek. Při přepočítání je proud oproti napětí příliš malý a není čitelný. Po zapnutí výtahu dojde ke skoku napětí na 24V viz. čas 0s a pak se udržuje na konstantní hodnotě.



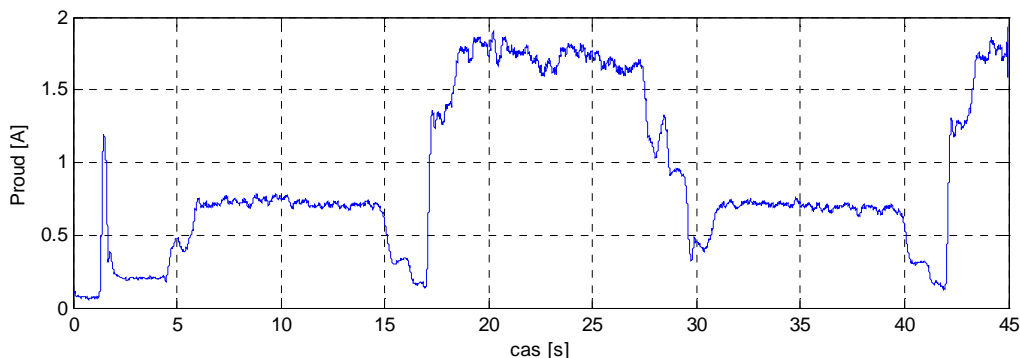
Obr.: 8.6 Napětí a proud naměřené při nulové zátěži

Při měření nás zajímají hodnoty po skokové změně napětí. Po této změně se mění pouze proud, proto je na Obr.: 8.7 vykreslen samostatně z důvodu lepší čitelnosti hodnot. Na grafu je vidět špička proudu, ke které dojde po zavření dveří, což je impuls pro řídicí jednotku k uvedení motoru do pohybu.

V čase přibližně 5s se výtah rozjíždí, v grafu je patrná rozjezdová „S“ křivka, poté jede konstantní rychlostí nahoru (v grafu je to přibližně konstantní hodnota proudu) a v čase okolo 15s motor dojíždí a je zde vidět dojezdová „S“ křivka.

Poté se výtah zastaví a rozjede směrem dolů. Po rozjezdové křivce jede konstantní rychlostí asi 7s, pak dojíždí přes dojezdovou křivku, až se v čase okolo 30s zastaví a takto se opakují další dva cykly, které slouží pro přesnější výsledky ze statického měření.

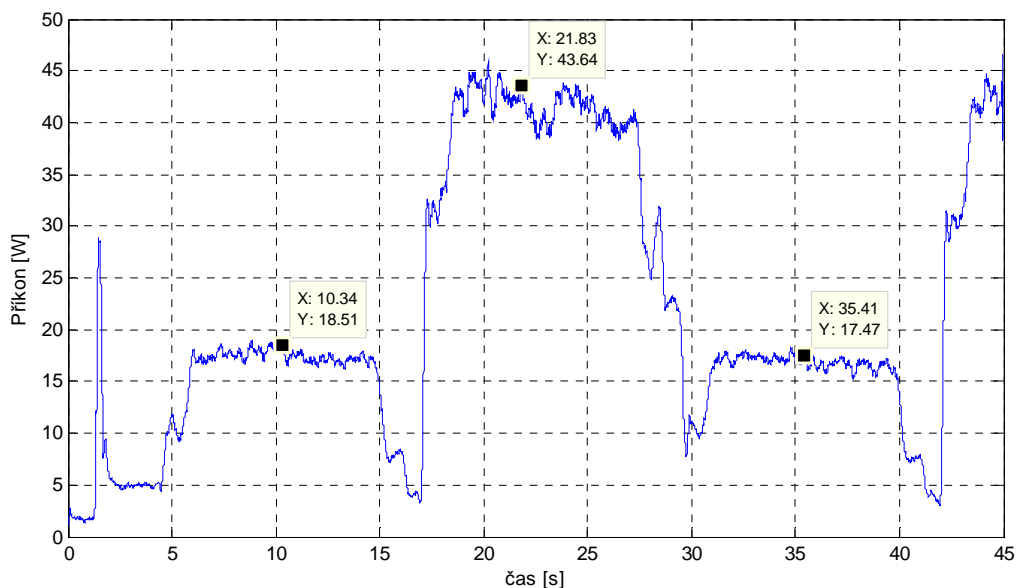
U dynamického měření byl zaznamenán úsek po dobu 45s. V grafu je tedy znázorněno jen měřených 45 s, což odpovídá 1,5 cyklu.



Obr.: 8.7 Proud při nulové zátěži

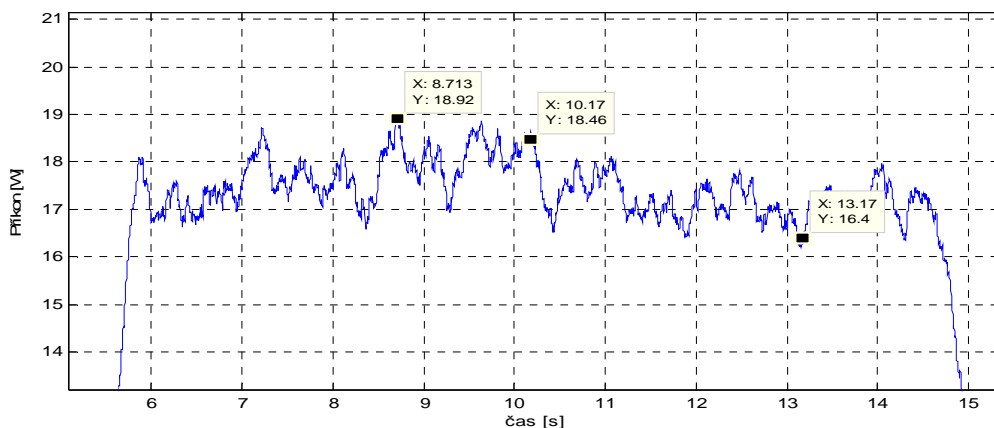
Abychom dostali příkon pohonu, který jsme měřili při statickém měření, tak vynásobíme naměřený proud konstantní hodnotou napětí $U=24V$, příkon se tedy rovná: $P = U \cdot I$. Protože se při měření měnila pouze hodnota proudu, je křivka příkonu totožná s křivkou proudu, jen jsou tyto hodnoty přibližně 24krát větší.

Při nezatížené kabině Obr.: 8.8 je vidět, že výtah spotřebuje mnohem více energie při jízdě kabiny dolů, protože soustava je nevyvážená a hmotnost protizávaží je dvakrát větší než hmotnost kabiny. Proto je naměřený příkon při jízdě dolů více než dvakrát větší. V ideálním případě by měl být naměřený příkon přesně dvakrát větší při jízdě dolů než nahoru. Rozdíly jsou způsobeny mechanickou nedokonalostí modelu.



Obr.: 8.8 Příkon při nulovém zatížení kabiny

U statického měření jsme měřili příkon při průjezdu druhým patrem, to odpovídá místům, která jsou označena v Obr.: 8.8. Tyto hodnoty budou porovnány s hodnotami ze statického měření. Z Obr.: 8.9 je patrné, že když jede výtah konstantní rychlostí, neodebírá konstantní proud, tedy ani příkon není konstantní. Toto zvlnění je způsobeno komutací fází motoru. Pro porovnání výsledků ze statického a dynamického měření je toto zvlnění zanedbatelné, proto se jím dále nebudeme zabývat.



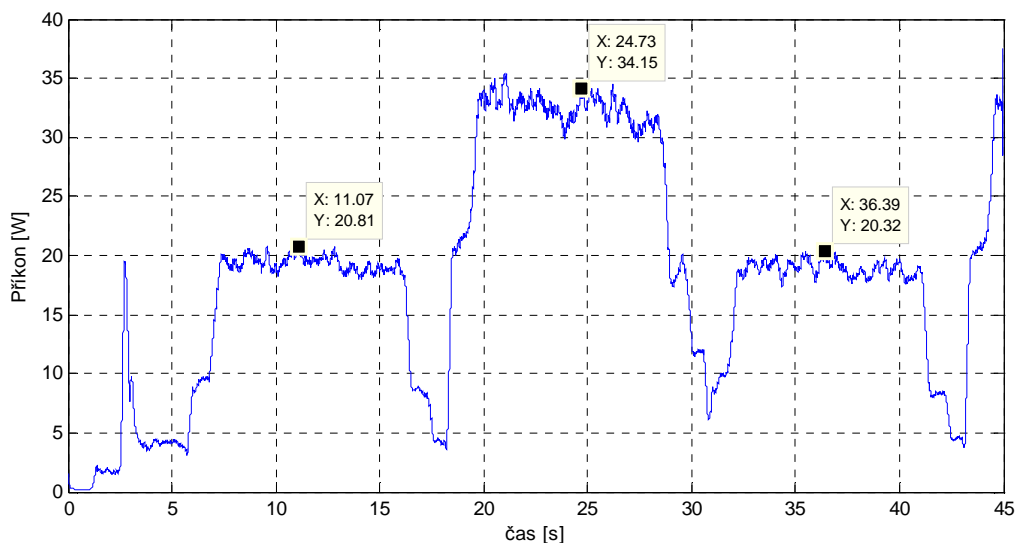
Obr.: 8.9 Příkon při konstantní rychlosti

Aby naměřené hodnoty odpovídaly co nejvíce hodnotám ze statického měření, je použita hodnota v polovině konstantní rychlosti, což by mělo odpovídat průjezdu kabiny druhým patrem a je vybrána taková hodnota, která se co nejvíce blíží průměrné naměřené hodnotě. Špičková hodnota by totiž značně ovlivnila výsledky měření.

Výsledky se závažím 1Kg

Dynamické měření bylo provedeno pro kabinu bez závaží, poté se závažím 1kg a 2,2kg a nakonec se kabina zatížila závažím o hmotnosti 3kg. Tato data byla naměřena a zpracována stejným způsobem, jak již bylo popsáno výše. Pro porovnání výsledků se statickým měřením je důležitý pouze příkon, proto u dalších měření jsou v grafu vykresleny jen naměřené příkony.

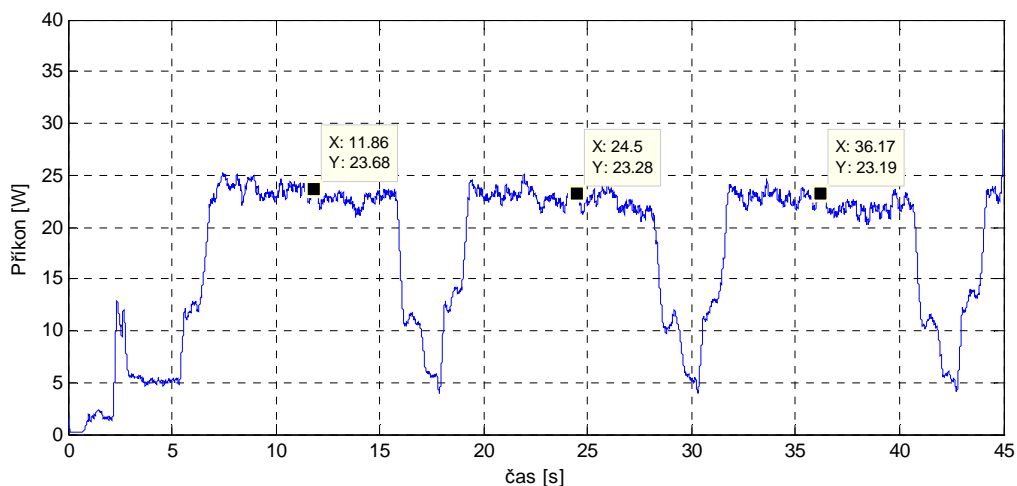
Na Obr.: 8.10 je vykreslen příkon se zatížením 1kg. Je zde opět zaznamenán příkon při spuštění modelu po dobu 45s. Oproti měření bez zatížení se začínají rozdíly příkonu při jízdě nahoru a dolů zmenšovat. U modelu bez zátěže byl rozdíl více než dvojnásobný. V tomto případě se rozdíl snížil na 60,94 %. Postupným zvyšováním závaží by se měl snižovat rozdíl příkonů až do okamžiku, kdy se příkony vyrovnají a to by mělo nastat při vyvážení kabiny a protizávaží.



Obr.: 8.10 Příkon se zatížením kabiny 1kg

Výsledky se závažím 2.2Kg

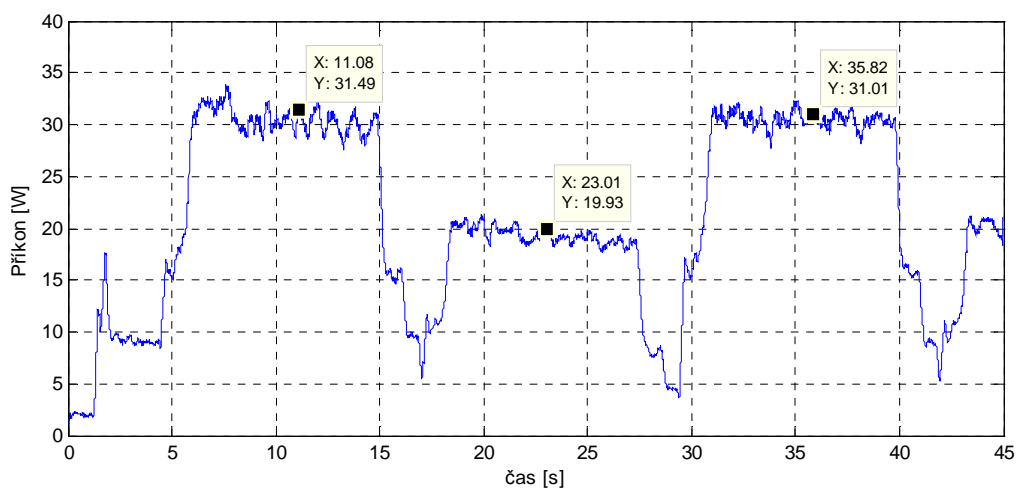
Graf s výsledky při tomto zatížení je uveden na Obr.: 8.11. 2,2kg je váha, při které se hmotnost kabiny a protizávaží vyrovnají a tím se vyrovnají i naměřené příkony při jízdě nahoru a dolů.



Obr.: 8.11 Výsledky z měření při zatížení kabiny 2,2kg

Výsledky se závažím 3Kg

Při zatížení kabiny 3kg je hmotnost kabiny větší než hmotnost protizávaží, proto je větší příkon naměřen při jízdě kabiny nahoru.



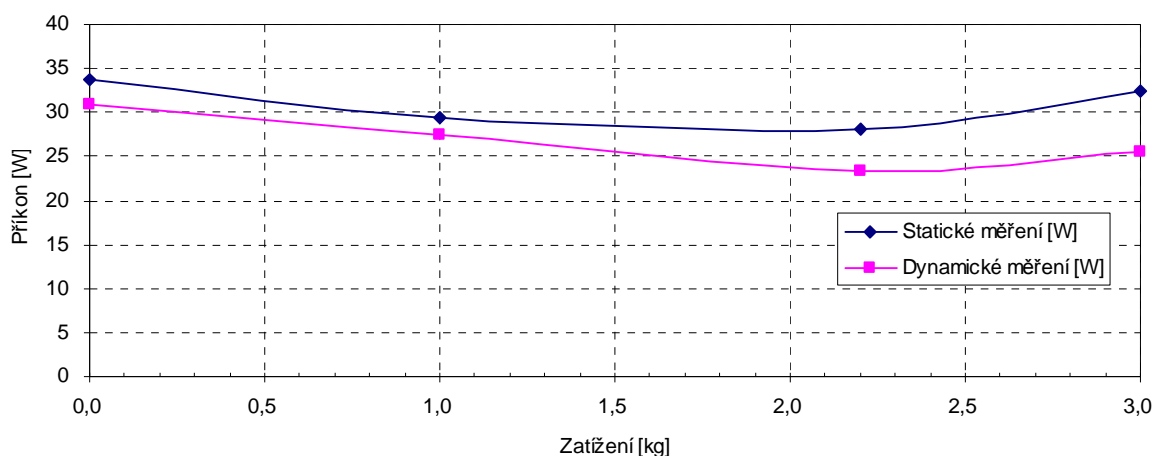
Obr.: 8.12 Výsledky z měření při zatížení kabiny 3kg

8.3. Porovnání naměřených výsledků z dynamického a statického měření

Tím, že se model měřil před mechanickou úpravou, jsou výsledky značně ovlivněny vedením kabiny a protizávaží, ale i tak je nejmenší spotřeba naměřena při vyvážení kabiny a protizávaží, tedy při zatížení kabiny 2,2 kg a naměřená data opisují podobnou křivku, viz. Obr.: 8.13. Tato data budou porovnána s daty po mechanické změně modelu.

Tab.: 8.4 Porovnání statického a dynamického měření

Hmotnost [kg]	Statické měření [W]			Dynamické měření [W]		
	Nahoru	Dolů	Průměr	Nahoru	Dolů	Průměr
0	20,20	47,13	33,67	18	43,64	30,82
1	22,14	36,58	29,39	20,57	34,15	27,36
2,2	29,09	27,13	28,11	23,44	23,28	23,36
3	39,23	25,73	32,48	31,25	19,93	25,59



Obr.: 8.13 Porovnání statického a dynamického měření

8.4. Měření otáček

Měření otáček bylo provedeno optickým digitálním tachometrem DT-2236 viz. Obr.: 8.14. Naměřené otáčky motoru jsou 280 ot/min, což se shoduje s hodnotou nastavenou v řídicí jednotce motoru.



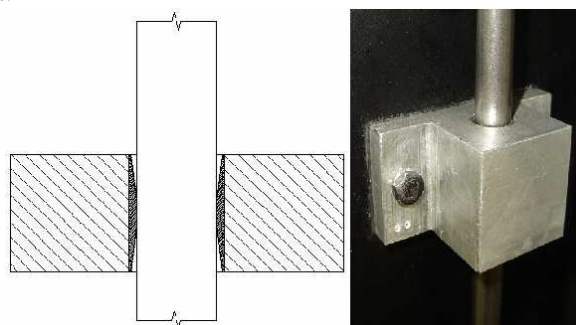
Obr.: 8.14 Otáčkoměr DT-2236

9. Úprava modelu

Z komplikací při provozu a při měření na modelu domovního výtahu a z výsledků jednotlivých měření se vyvodily nedostatky modelu, které jsou popsány v kapitole 8 a 8.1. Zde jsou popsány příčiny nedostatků nevhodného řešení, možné úpravy modelu a následný výběr nejvhodnější varianty.

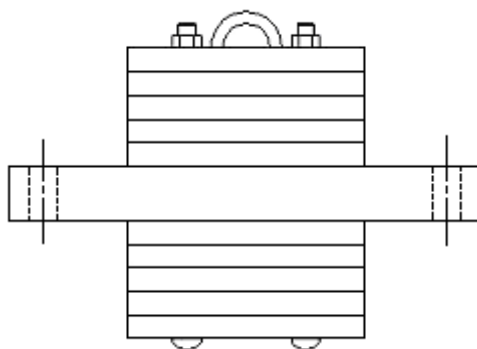
9.1. Nevhodné vedení protizávaží a kabiny

Vodící tyče kabiny jsou vyrobeny z kulatiny z hlazené oceli o průměru 10mm. Na bocích kabiny jsou připevněna duralová vodítka viz. Obr.: 9.1, ve kterých jsou zapuštěna teflonová kluzná ložiska.



Obr.: 9.1 Vedení kabiny

Podobným způsobem je provedeno i vedení protizávaží. To je vedeno mezi dvěma tyčemi a skládá se z duralového mezikusu v němž jsou uložena teflonová kluzná ložiska, a z deseti ocelových obdélníkových závaží, která jsou dohromady sešroubována dvěma závitovými tyčemi.



Obr.: 9.2 Vedení protizávaží

Toto vedení je nevhodné kvůli jeho velkému tření, velké vůli mezi tyčí a ložiskem a malé vodící ploše. Tření zvyšovalo spotřebu a velká vůle ložisek s malou vodící plochou způsobovaly zasekávání kabiny a protizávaží na vodících tyčích.

9.2. Navrhované řešení pro snížení tření a poruchovosti modelu

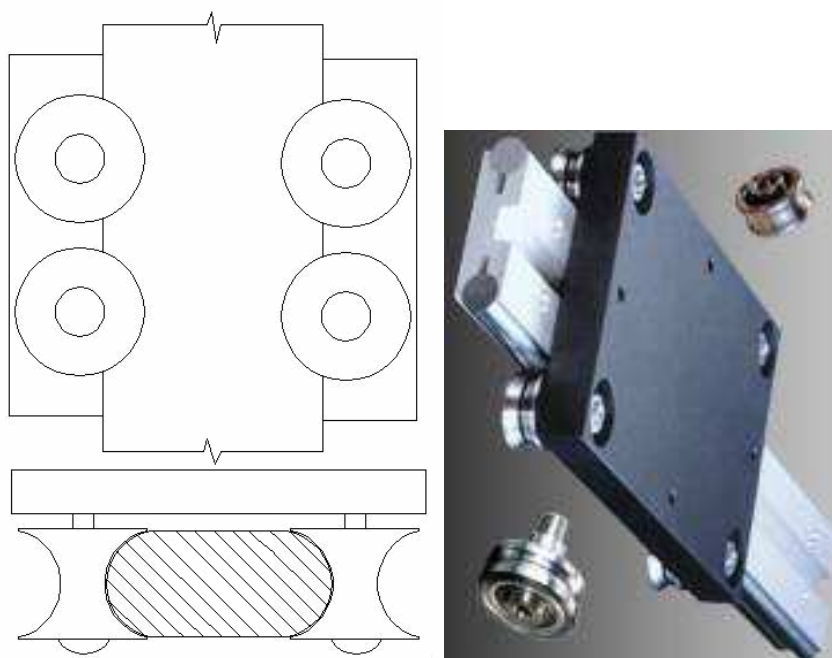
Aby nedocházelo k zasekávání modelu a vodící tyče tolik neovlivňovaly výsledky měření, byly navrhovány různé varianty vedení kabiny a protizávaží:

Nanesení oleje na kolejnice

Mazáním se sníží koeficient tření a tím i spotřeba, ale stále docházelo k zasekávání na kolejnících.

Změna pohybu na kolejnících

Je mnoho způsobů jak nahradit nevhodné řešení, například klouzavý pohyb po kolejnících by se mohl nahradit valivým pohybem pomocí rolnic viz. Obr.: 9.3 . Lineární vedení s rolničkami by bylo z hlediska tření a bezporuchovosti asi nejlepší, ale metr kolejnice s tímto vedením stojí přibližně 3000,-Kč a proto bylo od této možnosti upuštěno.

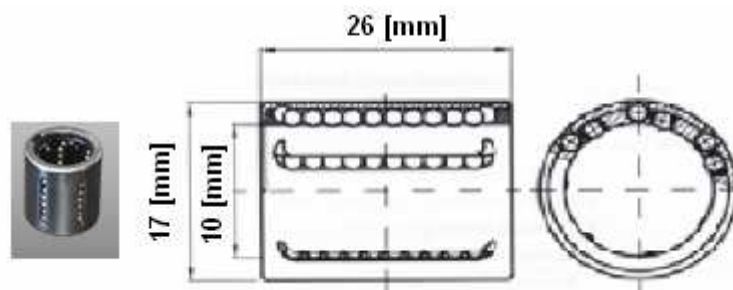


Obr.: 9.3 Lineární vedení s rolničkami
a) náčrtek vedení b) foto vedení (převzato z www.Matis.cz)

Další možností bylo použití lineárních ložisek s přidavným vedením, změna vedení na T profil nebo vedení z I profilu a plno dalších řešení. Jako nejvhodnější řešení při posuzování poměru ceny a vhodnosti použití pro daný model bylo zachování vodících tyčí a nahrazení teflonových kluzných ložisek lineárními ložisky.

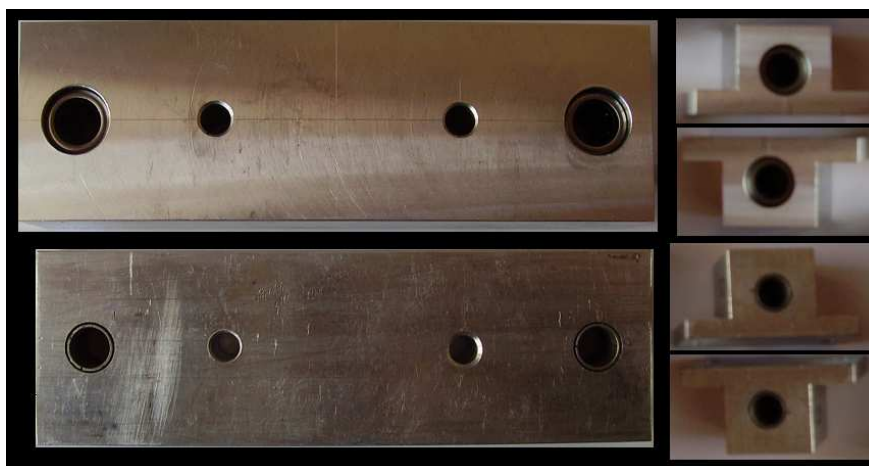
9.3. Použité řešení pro snížení tření na vedení

Vedení kabiny a protizávaží s teflonovými ložisky bylo nahrazeno vedením s lineárními ložisky KH-1026PP od firmy Matis viz. Obr.: 9.4, kde číslo 10 značí průměr vedení v mm, 26 délku vedení v mm a PP značí oboustranně utěsněné ložisko.



Obr.: 9.4 Použité lineární ložisko

Použitím tohoto ložiska se značně snížilo tření a zpřesnilo vedení díky malé vůli ložisek a zvětšením vodící plochy u vedení protizávaží z 2cm na 2,6cm. Pro nové ložiska bylo zapotřebí vyrobít nová duralová vodítka kabiny a protizávaží viz. Obr.: 9.5, do kterých byla ložiska nalepena se zapuštěním 2 mm.



Obr.: 9.5 Původní (nahore) a nové vedení (dole) protizávaží a kabiny

Kvůli delší vodící ploše ložiska se zvětšila šířka duralového muzikusu, ve kterém jsou ložiska nalepena, z původních 2cm na 3cm.

Se změnou velikosti vodítek se změnila i hmotnost, z tohoto důvodu muselo být nové vedení zváženo a musela se dopočítat změna hmotnosti vedení s protizávažím.

Po zvážení vedení protizávaží a kabiny bylo spočítáno, že protizávaží je o 200g těžší než u původního modelu. Proto bylo odebráno jedno 400g závaží a nahrazeno závažím o hmotnosti 200g. Toto vyvážení bylo provedeno, aby se výsledky z prvního měření daly porovnat s výsledky z druhého měření a aby se nezvyšovalo namáhání lana a celého modelu.

10. Měření po změně modelu

10.1. Statické měření

Tab.: 10.1 Data ze statického měření po mechanické změně modelu

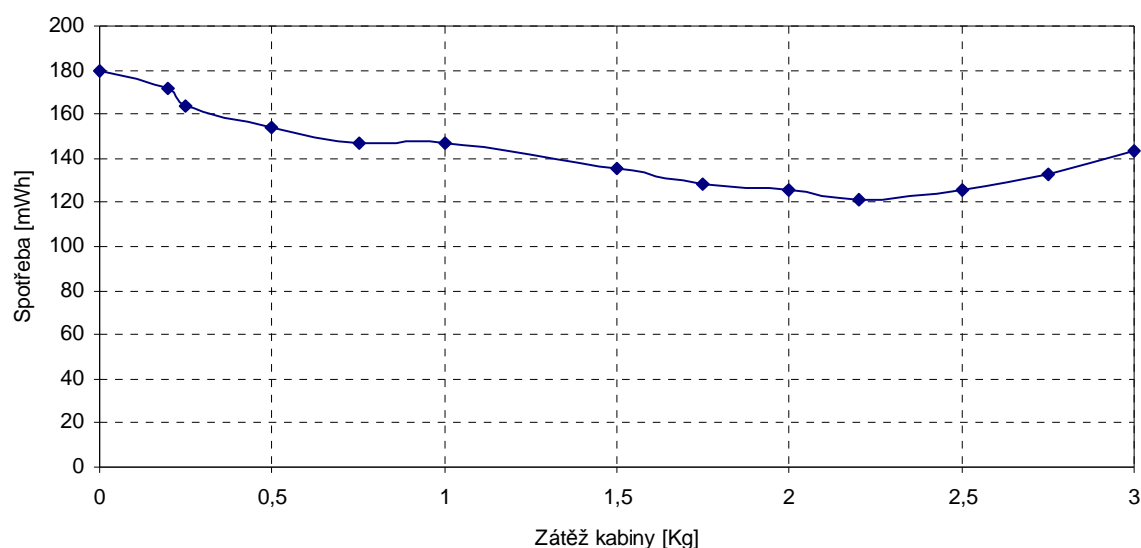
Hmotnost závaží [kg]		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Průměr [W]
0	Nahoru [W]	20,2	20,3	19,3	19,933
	Dolů [W]	47,8	46,9	46,1	46,933
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	538,9			
0,2	Nahoru [W]	17,5	17	17	17,167
	Dolů [W]	40,2	40,8	40,1	40,367
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	515,16			
0,25	Nahoru [W]	17,1	16,1	16,1	16,433
	Dolů [W]	37,8	37,6	37,2	37,533
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	490			
0,5	Nahoru [W]	16,2	16,2	17,3	16,567
	Dolů [W]	34,4	33	34,4	33,933
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	461			
0,75	Nahoru [W]	16,8	17	17,7	17,167
	Dolů [W]	31,3	33,2	31	31,833
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	442			
1	Nahoru [W]	18,8	18,8	18,6	18,733
	Dolů [W]	32,8	30,4	29,8	31,000
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	441			
1,25	Nahoru [W]	18,9	18,5	18,2	18,533
	Dolů [W]	27,7	28,2	28,1	28,000
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	417			
1,5	Nahoru [W]	19	18,3	18,5	18,600
	Dolů [W]	27,7	27,2	26,7	27,200
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	407			
1,75	Nahoru [W]	20,3	19,1	18,4	19,267
	Dolů [W]	24,5	27,2	26,7	26,133
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	386			
2	Nahoru [W]	20,4	19,1	19,4	19,633
	Dolů [W]	22,6	22,4	22,4	22,467
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	378			
2,2	Nahoru [W]	21,1	22,7	22,3	22,033
	Dolů [W]	22,7	22,4	21,2	22,100
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	364			
2,5	Nahoru [W]	23,1	23,5	23,1	23,233
	Dolů [W]	19,3	19,2	19,5	19,333
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	378			
2,75	Nahoru [W]	26,4	25,2	25,2	25,600
	Dolů [W]	19,3	19,8	19,9	19,667
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	399			
3	Nahoru [W]	28,2	29,7	29,2	29,033
	Dolů [W]	19,4	18,1	18,4	18,633
	Spotřeba 3cyk. [mWh]	431			

Statické měření se opět provádělo ve třech cyklech a měřil se příkon motoru při průjezdu druhým patrem a spotřeba za tři cykly.

Spotřeby pro jednotlivé hodnoty závaží, které budou v kapitole 11 porovnány s měřením před změnou modelu jsou uvedeny v Tab.: 10.1 a vykresleny na Obr.: 10.1. Z těchto hodnot je patrná nejnižší spotřeba při zatížení kabiny 2,2kg což je stav, kdy je závaží i kabina vyvážená.

Tab.: 10.1 Spotřeby pro jeden cyklus při změně závaží v kabině

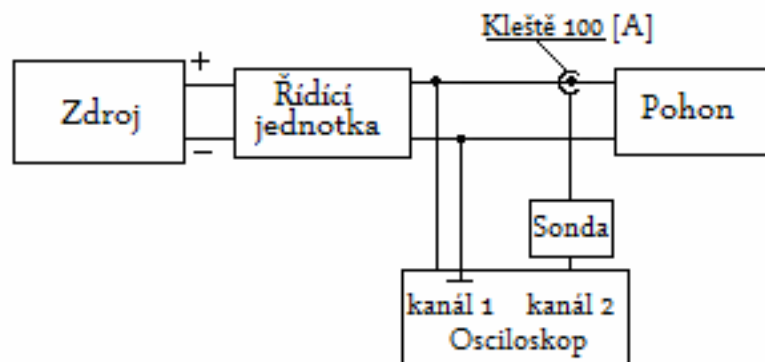
Závaží kabiny [kg]	Spotřeba pro 1 cyklus
0	179,63
0,2	171,72
0,25	163,40
0,5	153,67
0,75	147,34
1	147,00
1,5	135,67
1,75	128,67
2	126,00
2,2	121,34
2,5	126,00
2,75	133,00
3	143,67



Obr.: 10.1 Spotřeba 1 cyklu při změně zatížení kabiny

10.2. Dynamické měření

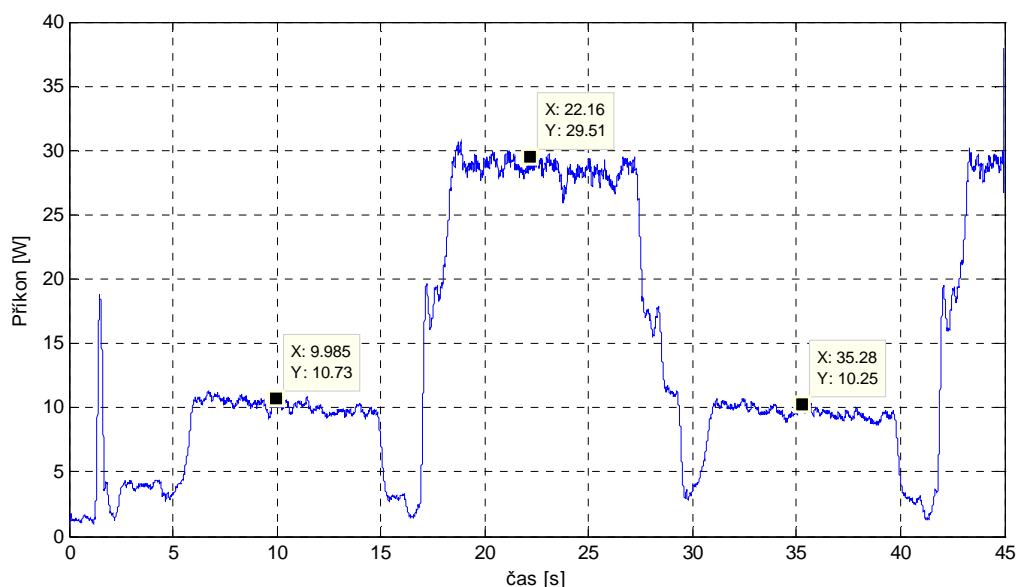
Při dynamickém měření se měřily stejné hodnoty jako před mechanickou úpravou modelu. To znamená, že se provedly 4 měření pomocí osciloskopu pro model bez zatížené kabiny a potom se kabina zatížila hmotností 1, 2,2 a 3kg. Oproti statickému měření byl rozdíl v tom, že se měřily napětí a proudy až za řídicí jednotkou. Tedy byl změřen příkon pohonu bez řídicí jednotky, zapojení měřícího přístroje je patrné z Obr.: 10.2.



Obr.: 10.2 Zapojení osciloskopu pro dynamické měření po mechanické úpravě modelu

Měření bez zatížení

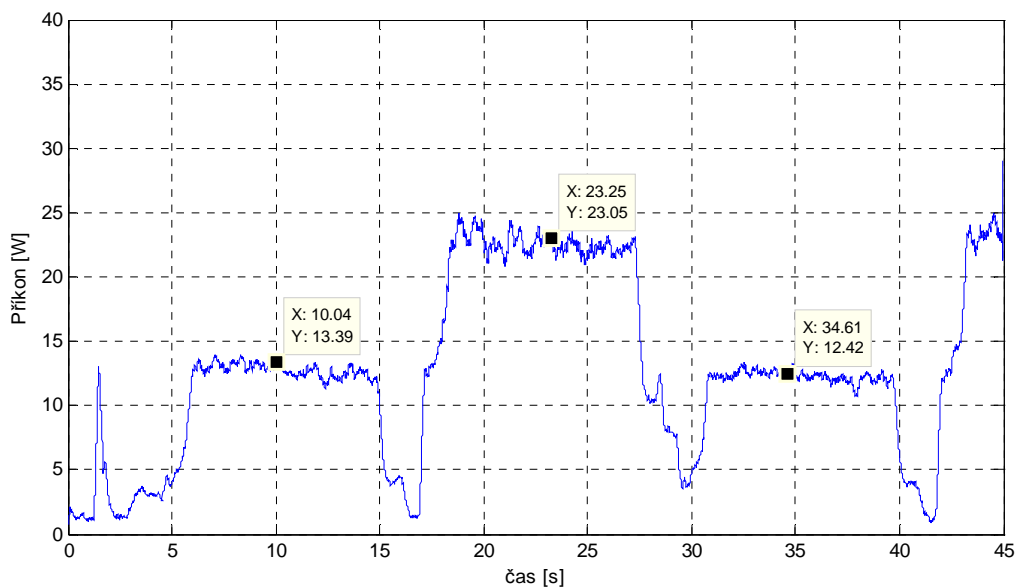
Z měření po změně modelu je patrné, že se snížila celková spotřeba modelu, která bude níže porovnána s měřením před změnou modelu.



Obr.: 10.3 Měření bez zatížení

Měření se zatížením kabiny 1 kg

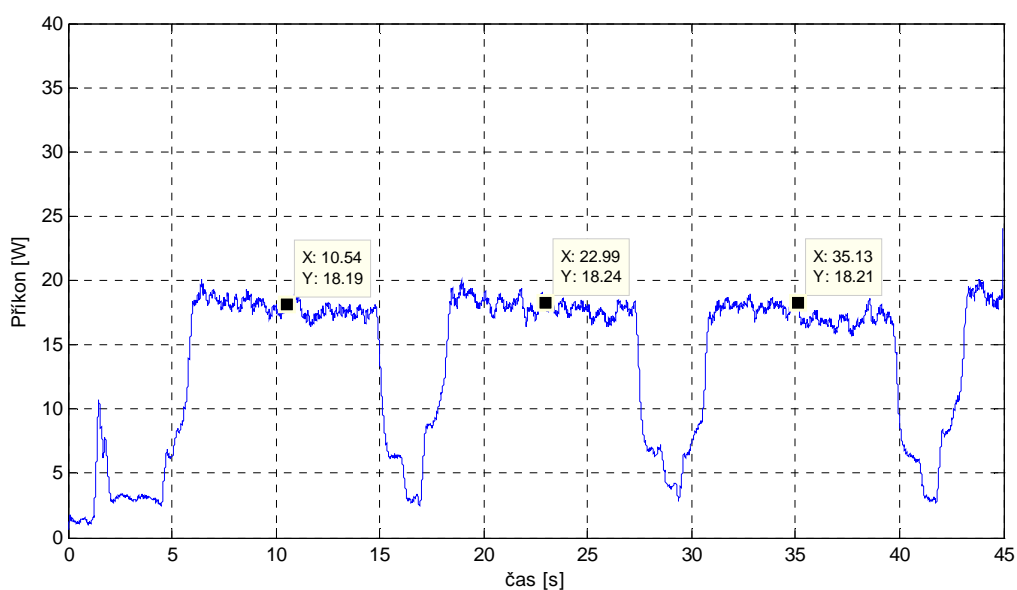
Při zatížení kabiny 1kg se stejně jako u měření před mechanickou úpravou modelu zmenšil rozdíl příkonu motoru při jízdě modelu dolů a zvýšil příkon při jízdě nahoru. Postupným zvyšováním zatížení kabiny se rozdíly příkonů zmenšují až do vyrovnání hmotnosti kabiny a protizávaží.



Obr.: 10.4 Měření se zatížením kabiny 1kg

Měření se zatížením kabiny 2,2 kg

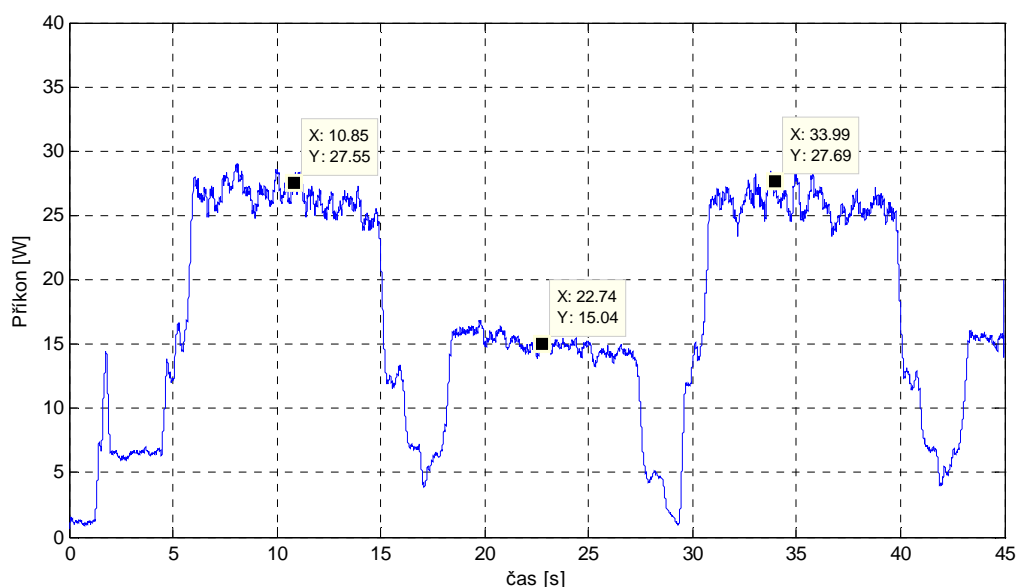
Při vyvážení kabiny a protizávaží se vyrovná naměřená hodnota příkonu motoru při jízdě nahoru i dolů. Nepatrné rozdíly jsou dány chybou měření a působením okolních vlivů.



Obr.: 10.5 Měření se zatížením kabiny 2,2kg

Měření se zatížením kabiny 3 kg

Poslední naměřené hodnoty byly se zatížením kabiny 3 kg, při tomto zatížení je hmotnost kabiny větší než hmotnost protizávaží, proto je větší spotřeba při jízdě kabiny nahoru, kdy motor táhne rozdíl hmotností kabiny a protizávaží, tedy 0,8 kg.



Obr.: 10.6 Měření se zatížením kabiny 3kg

Všechny naměřené výsledky jak s dynamického tak i ze statického měření, po výměně vedení kabiny a protizávaží s teflonovými ložisky za nové vedení s lineárními ložisky, bude porovnáno s měřeními před touto úpravou modelu.

Porovnání statického a dynamického měření

Tab.: 11.2 Porovnání statického a dynamického měření po mechanické úpravě modelu

Hmotnost [kg]	Statické měření [W]			Dynamické měření [W]		
	Nahoru	Dolů	Průměr	Nahoru	Dolů	Průměr
0	19,933	46,933	33,43	10,49	29,51	20
1	18,733	31	24,86	14,91	23,05	18,98
2,2	22,033	22,1	22,07	18,23	18,14	18,19
3	29,033	18,633	23,83	27,6	15,03	21,32

Data ze statického měření mají vyšší hodnotu než data z osciloskopu, protože statické měření bylo prováděno na zdroji a dynamické měření za řídicí jednotkou, proto jsou hodnoty naměřené na zdroji větší o příkon řídicí jednotky, který je při odpojeném pohonu 7,98W a o spotřebu senzorů a panelů jednotlivých pater a kabiny.

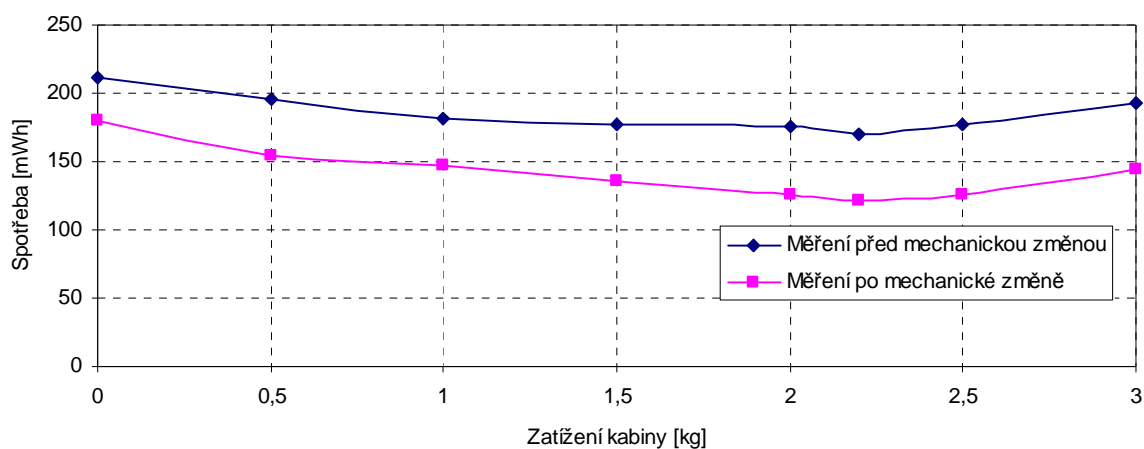
11. Porovnání naměřených hodnot

Při porovnání naměřených výsledků je jak ze statických tak i z dynamických měření patrné, že se mechanickou změnou modelu snížila celková spotřeba energie a zároveň se snížila poruchovost celé soustavy. Hodnoty před a po změně modelu jsou vykresleny na Obr.: 11.2 - Obr.: 11.4 a uvedena v Tab.: 11.1 pro statické měření spotřeby, v Tab.: 11.2 pro statické měření příkonu a v Tab.: 11.23 pro dynamické měření příkonu.

Tab.: 11.1 Data ze statického měření spotřeby před a po mechanické změně modelu

Zatížení kabiny [kg]	Spotřeba 1 cyklu		Úspora energie za 1 cyklus [mWh]	Úspora energie 1 cyklu [%]
	Měření před mechanickou změnou	Měření po mechanické změně		
0	212	179,63	32,37	15,27
0,5	195,33	153,67	41,66	21,33
1	181,33	147	34,33	18,93
1,5	177,67	135,67	42	23,64
2	176	126	50	28,41
2,2	170	121,34	48,66	28,62
2,5	177,67	126	51,67	29,08
3	193,33	143,67	49,66	25,69

Jednotlivé spotřeby a úspory energie pro jeden cyklus v mWh a úspory v % jsou uvedeny v tabulce. Úspora el. energie je tedy například pro případ bez zatížení kabiny 15,26%, což by mělo odpovídat i maximálnímu zatížení kabiny, protože pohon při maximálním zatížení zvedá stejnou zátěž, jde jen o hmotnost kabiny a ne o hmotnost protizávaží. Jak je vidět z grafu, nejmenší rozdíly byly naměřeny při nezatížené soustavě, rozdílné úspory energie jsou dány tím, že řídicí jednotky nemají konstantní příkon a výsledky z prvního měření jsou zkresleny špatným vedením kabiny a protizávaží.



Obr.: 11.1 Spotřeba za 1 cyklus před a po mechanické úpravě

Tab.: 11.3 Data ze statického měření příkonu před a po mechanické změně modelu

Hmotnost [kg]	Statické měření příkonu při průjezdu druhým patrem [W]						Rozdíl průměrných příkonů [%]
	Před mechanickou změnou			Po mechanické změně			
	Nahoru	Dolů	Průměr	Nahoru	Dolů	Průměr	
0	20,2	47,13	33,7	19,93	46,93	33,43	0,80
1	22,14	36,58	29,36	18,73	31	24,9	15,19
2,2	29,09	27,13	28,11	22,03	22,1	22,07	21,49
3	39,23	25,73	32,48	29,03	18,633	23,8	26,72

V tabulce jsou průměrné hodnoty ze statického měření při průjezdu druhým patrem v jednotlivých směrech a průměrná hodnota obou směrů. Když porovnáme průměrnou hodnotu příkonu při hmotnosti 2,2kg tedy 28,11W před změnou a 22,07W po změně, vychází nám snížení příkonu po úpravě modelu přibližně 21,5%. Z těchto hodnot je vidět velký vliv nevhodného vedení, které značně ovlivňuje naměřené hodnoty.

11.1. Porovnání dat dynamického měření

Tab.: 11.2 Data z dynamického měření příkonu před a po mechanické změně modelu

Hmotnost [kg]	Hodnoty z dynamického měření při průjezdu druhým patrem [W]					
	Před mechanickou změnou			Po mechanické změně		
	Nahoru	Dolů	Průměr	Nahoru	Dolů	Průměr
0	17,99	43,64	30,815	10,49	29,51	20
1	20,565	34,15	27,3575	14,91	23,05	18,98
2,2	23,585	23,28	23,4325	18,23	18,14	18,185
3	31,25	19,93	25,59	27,6	15,03	21,315

V této tabulce jsou odečteny hodnoty z dynamického měření při průjezdu druhým patrem, které byly vybrány pro porovnání statických a dynamických výsledků, které již byly popsány výše. Rozdílné příkony motoru před a po mechanické úpravě lépe vystihují grafy v následující kapitole.

11.1.1. Porovnání dat při nezatížené kabině

Nejlépe snížení příkonu pohonu vystihuje dynamické měření, z kterého je vidět okamžitá hodnota příkonu v čase.

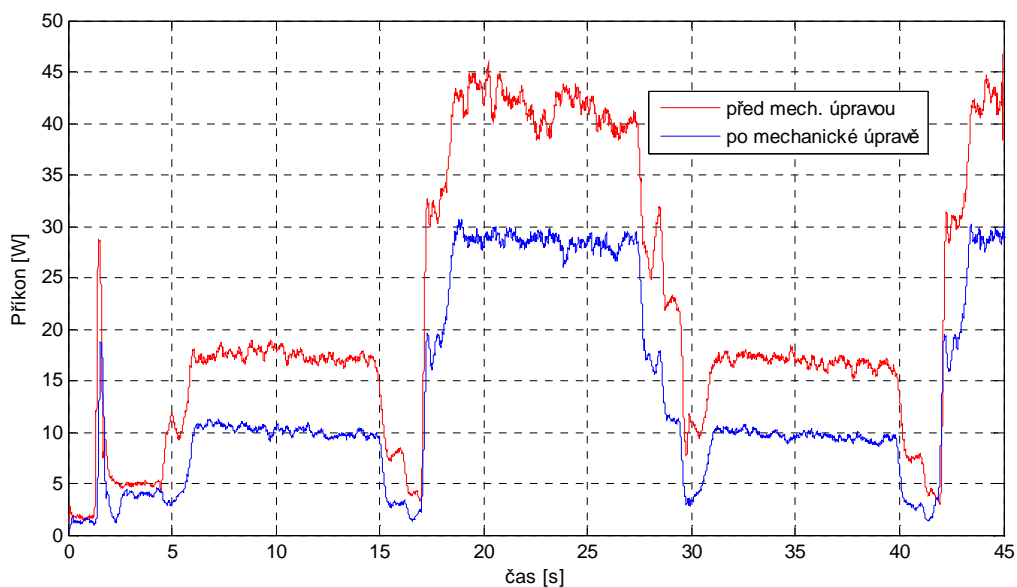
Pro porovnání hodnot z měření před a po změně modelu bylo potřeba posunout časovou osu jednoho ze dvou naměřených výsledků. Posunutí časové osy bylo provedeno jednoduchou úpravou příkazu pro vykreslení grafu.

Příklad:

Pokud měření jedna bylo spuštěno o 1,24 s dříve než měření dva, byly o tuto hodnotu posunuty i všechny naměřené hodnoty a proto se musí ke každé hodnotě v matici tento rozdíl přičíst. Vykreslení dvou grafů se provede např. příkazem `plot (t,P,t2,P2)`, kde `t` a `t2` je časová osa. Chceme-li tedy posunout všechny hodnoty pro měření 2 v čase o 1,24 s stačí příkaz upravit takto:

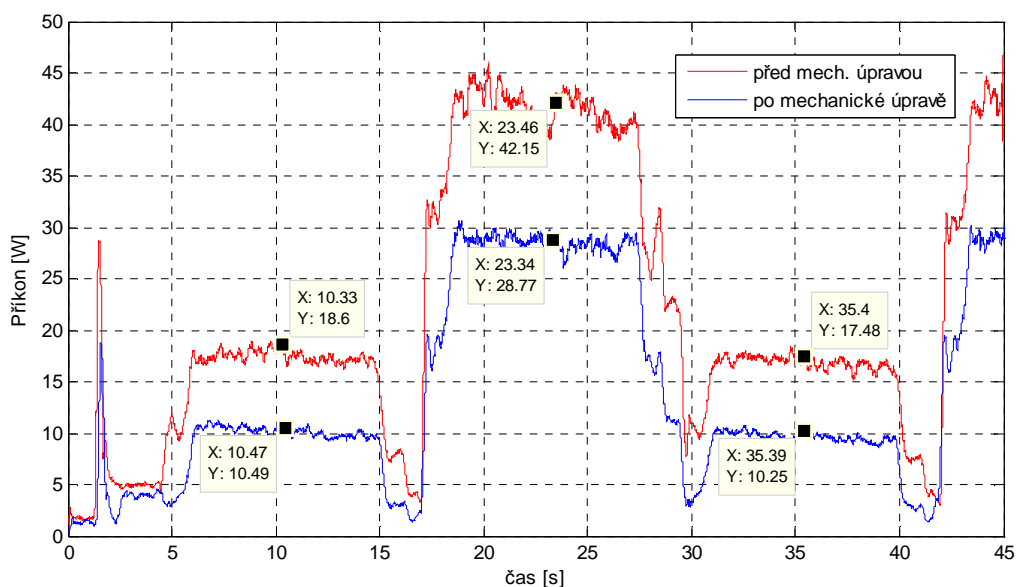
`plot (t,P,t2+1.24,P2).`

Příkon při nezatížené kabině je na Obr.: 11.2.



Obr.: 11.2 Nezatížená kabina

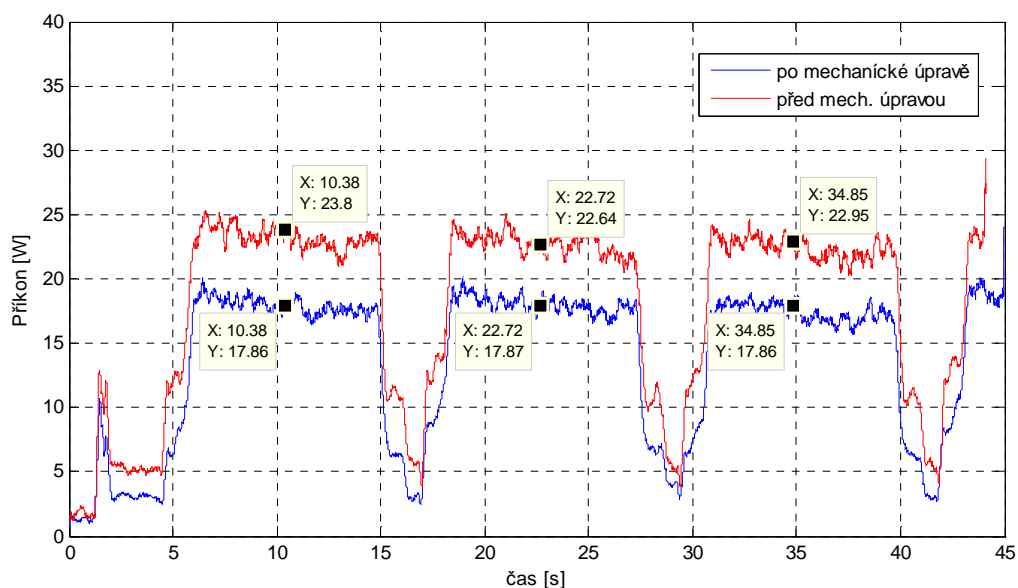
Na grafu jsou vykresleny příkony pohonu, jednotlivé změny příkonu byly již popsány u prvního grafu, tento graf jen porovnává spotřebu pohonu před a po mechanické úpravě.



Obr.: 11.3 Zatížení kabiny 1kg s hodnotami příkonu při konstantní rychlosti

Z vykreslených hodnot je zřejmé, že na motor působí menší zátěž díky odstranění velkého tření původních teflonových ložisek použitých na modelu, které byli nahrazeny lineárními ložisky.

11.1.2. Porovnání dat při zátěži kabiny 2,2kg



Obr.: 11.4 Zatížení kabiny 2,2kg s hodnotami příkonu při konstantní rychlosti

Průměrná hodnota příkonu při jízdě výtahu nahoru a dolů upraveného modelu se zatížením 2,2 kg, tedy při vyvážení kabiny a protizávaží je 17,86W, zatímco před úpravou byla průměrná hodnota příkonu motoru 23,13W. Z toho vyplývá snížení příkonu téměř o 22,8%.

12. Závěr

Účelem této práce bylo pokračovat ve zdokonalení základní verze modelu uvedené v literatuře [1], určeného pro laboratorní výuku v bakalářském i magisterském studiu oborů Výkonové elektrotechniky a Mechatroniky.

Po oživení modelu byla zjištěna nesprávná funkce snímačů polohy kabiny, proto zde byly popsány možnosti odstranění této závady zvolením jiného typu snímačů, ze kterých byla následně vybrána varianta, která po úpravě programu řídicí jednotky nedostatky odstranila.

Pro testování pohonu byl vytvořen nový program, který byl nahrán do řídicí jednotky motoru a byla provedena první série testování. Na modelu bylo provedeno statické a dynamické měření modelu bez zatížení a se zatížením kabiny a zjišťoval se vliv protizávaží na příkon EC motoru.

Výsledky měření se velmi lišily a v průběhu testování došlo k zaseknutí kabiny na vodících tyčích. Tato porucha a rozdílné výsledky při stejném zatížení byly způsobeny nevhodným vedením kabiny a protizávaží po vodících tyčích a proto bylo po zvážení různých mechanických úprav modelu vyrobeno nové vedení, které je v této práci zdůvodněno a popsáno.

Po následné mechanické úpravě bylo realizováno nové testování, které je porovnáno s měřením před úpravou.

Po kontrole funkčnosti modelu se nezjistily další závady, které by ovlivňovaly poruchovost modelu. Dále z výsledků měření vyplývá, že se značně snížil příkon motoru při stejných hodnotách zatížení a tím se zvýšila účinnost celého modelu.

Ze všech těchto výsledků je patrné, že se podařilo jednotlivými úpravami zlepšit chování soustavy jako celku a připravit model tak na případné další testování.

Na tuto práci by se dalo navázat dalším experimentálním ověřováním vlastností pohonu. Při dlouhodobém zatěžování dochází k oteplování motoru a tím se mění jeho parametry, které mají vliv na jeho provozní vlastnosti.

13. Literatura

- [1] Vidlák, J.: Funkční model domovního výtahu s EC motorem, Diplomová práce VUT FEKT, Brno 2006, Vedoucí DP Doc. Ing. Josef Kolářný, CSc.
- [2] <http://www.nao.otis.com/>
- [3] Skalický, J.: Elektrické regulované pohony, skriptum VUT FEKT, Brno 2007
- [4] Ďaďo, S. – Kreidl, M.: Senzory a měřící obvody 1, ČVUT 1996
- [5] Skalický, J.: Elektrické servopohony, skriptum VUT FEKT, Brno 1999
- [6] http://www.servida.de/product_info.php?cPath=32_21&products_id=34
- [7] Kutrucz, T.: Diplomová práce 2008, Vedoucí DP Doc. Ing. Josef Kolářný, CSc.

14. Přílohy

Obsah příloh:

14.1. PŘÍLOHA 1	56
PROGRAM PRO MĚŘENÍ A JEHO POPIS.....	56
14.2. PŘÍLOHA 2	60
PROGRAM PRO ÚPRAVU A VYKRESLENÍ DAT Z OSCILOSKOPU	60
14.3. PŘÍLOHA 3	61
DATA ULOŽENÁ NA CD	61

14.1. Příloha 1

Program pro měření a jeho popis

```

UAI      'nastaveni pinu A jako dig. vstup nulovy bod
UGI      'nastaveni pinu G jako dig. vstup tlacitka
UFI      'nastaveni pinu F jako dig. vstup tlacitka
UEI      'nastaveni pinu E jako dig. vstup tlacitka
UCO      'nastaveni pinu C jako dig. vystup nahoru/dolů
UDO      'nastaveni pinu D jako dig. vystup
UBI      'nast. pinu B jako vstup sig. otevrenych dveri
UD=1     'aby byla na zacatku 1 i po STOPU
UC=1     'aby byla na zacatku 1 i po STOPU
f=7      'nastaveni buferu tlacitek na nic nebylo stisknute
g=7
h=7
d=7
e=0
MP       'rychlostni mod
AMPS=1023 'nastaveni max. momentu
THD=12000 'nastaveni hlaseni teploty
A=100    'nastaveni zrychleni
V=100000 'nastaveni rychlosti pro rychl. mod
G
GOSUB2
P=-1000  'přesun do 1 patra
a=P
G
WAIT=8000 'čeká 2 sek. než začne pracovat
GOSUB14  'výjezd do 3. patra po rampě
GOSUB11  'sjezd do 1. patra po rampě
GOSUB14
GOSUB11
GOSUB14
GOSUB11
END
C2
WHILE UAI==1

```

```
LOOP
O=0
V=-150000
MP
RETURN
C3
b=a+500
V=-32000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+1000
V=-35000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+2000
V=-47000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+2500
V=-57000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+3000
V=-75000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+3500
V=-102000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a+4000
V=-150000
G
WHILE @P<b
LOOP
RETURN
C4
b=a-4000
WHILE @P<b
LOOP
b=a-3500
V=-102000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a-3000
V=-75000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a-2500
V=-57000
G
```

```
WHILE @P<b
LOOP
b=a-2000
V=-47000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a-1000
V=-35000
G
WHILE @P<b
LOOP
b=a-500
V=-32000
G
WHILE @P<b
LOOP
RETURN
C5
b=a-500
V=32000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-1000
V=35000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-2000
V=47000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-2500
V=57000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-3000
V=75000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-3500
V=102000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a-4000
V=150000
G
WHILE @P>b
LOOP
RETURN
C6
b=a+4000
WHILE @P>b
LOOP
```

```
b=a+3500
V=102000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a+3000
V=75000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a+2500
V=57000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a+2000
V=47000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a+1000
V=35000
G
WHILE @P>b
LOOP
b=a+500
V=32000
G
WHILE @P>b
LOOP
RETURN
C11
UC=0
a=-93000
P=-1000
WAIT=4000
G
GOSUB3
a=P
WHILE @P<-7000
LOOP
GOSUB4
RETURN
C14
UC=1
a=-1000
P=-93000
WAIT=4000
G
GOSUB5
a=P
WHILE @P>-87000
LOOP
GOSUB6
RETURN
C18
UC=0
a=-1000
P=-47000
```

```
WAIT=4000
G
GOSUB5
a=P
WHILE @P>-41000
LOOP
GOSUB6
WAIT=4000
RETURN
C17
UC=0
a=-47000
P=-1000
WAIT=4000
G
GOSUB3
a=P
WHILE @P<-7000
LOOP
GOSUB4
WAIT=4000
RETURN
```

14.2. Příloha 2

Program pro úpravu a vykreslení dat z osciloskopu

%smyčka pro čas, která veme každou 50tou hodnotu ze sloupce jedna a uloží ji do matice t.

```
a=1
for i=1:20000;
    t(i)=data(a,1);
    a=a+50;
end
%matice u je řádková proto ji převedeme na sloupcovou
t=t'
```

%napětí - sloupec pro matici napětí a proudu upravíme stejně

```
a=1
for i=1:20000;
    I(i)=data(a,4);
    a=a+50;
end
U=U'
```

```
%proud
a=1
for i=1:20000;
    I(i)=data(a,2);
    a=a+50;
end
I=I'
```

```
% příkazem smooth data vyfiltrujeme
i=smooth(I,100);

%poté data vynásobíme potřebným koeficientem, víme že proud s osciloskopu
byl 1A na dílek a z toho si určíme potřebnou konstantu
i=i*100;
u=smooth(U,100);
u=u*9;

% výpočet příkonu
P=u.*i

%a tímto data vykreslíme
plot(t,u,t,i,t,P)
```

14.3. Příloha 3

Data uložená na CD

- Diplomová práce ve formátu pdf
- Program řídící jednotky
- Program řídící jednotky motoru
- Program pro převod naměřených dat
- Soubory pro model v programu SolidWorks
- Video modelu výtahu vytvořené v SolidWorks
- Naměřená data z osciloskopu