

Česká zemědělská universita v Praze
Technická fakulta

**Projekt diagnostických a provozních opatření pro
bezstrojovné výtahy**
diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Sander Ph.D.

Diplomant: Bc. Petr Vondráček

PRAHA 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vondráček Petr

Technologická zařízení staveb

Název práce

Projekt diagnostických a provozních opatření pro bezstrojovnové výtahy

Anglický název

Project diagnostic and operational measures for elevators without machine room

Cíle práce

Cílem práce je vytvoření návrhu na změnu normy v oblasti diagnostiky závad a údržby bezstrojovnových výtahů.

Metodika

Obecný úvod do problematiky zdvihacích zařízení

Popis současného stavu diagnostiky závad u vybraného typu zařízení

Provedení provozních měření

Výpočty a návrh nového způsobu diagnostiky

Návrh úpravy normy

Osnova práce

1 Úvod

2 Problematika konstrukce bezstrojovnových výtahů

3 Diagnostika a současný stav řešení

4 Tenzometrické měření vibrací

5 Návrh inovace měření

6 Návrh na změnu normy

7 Závěr

Rozsah textové části

45-55

Klíčová slova

výtah, elektromotorové pohony , bezstrojovnové výtahy,

Doporučené zdroje informací

Ing. Ivo Janoušek, CSc. a kol., Technická diagnostika,

Mečislav Hudeczek, Zvyšování spolehlivosti asynchronních elektromotorů včetně poháněcích strojů,

František Celebrant, Technická diagnostika a spolehlivost IV. Provoz a údržba strojů,

Georgie R.Strakosch and Robert S.Caporale, The Vertical transportation handbook,

Bangash adn Bangash, Lifts, Elevators, Escalators and Moving Walkways/Travelators

Vedoucí práce

Sander Jan, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015



doc. Ing. Miroslav Příkryl, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

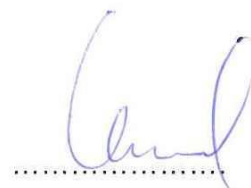
Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Sandera Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 2.4.2015

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'J' followed by a cursive name, written over a dotted horizontal line.

Podpis

Abstrakt:

Práce se zabývá problematikou diagnostiky opotřebení pohonných jednotek bezstrojovnových trakčních výtahů. Řeší problematiku špatného či nemožného přístupu k soustavě pohonu a následné možnosti použití ověřovacích metod stavu provozu technologie. Byla vytvořena a aplikována metodika měření opotřebení pohonu. Principem této metody bylo měření vibrací. Došlo tak k definování a vyhodnocování dat pro nastavení systémového nástroje kontroly. Rozborem předmětné normy bylo definováno slabé místo normativního předpisu a toto místo bylo doporučeno k úpravě a doplnění.

Klíčová slova: výtah, elektromotorové pohony, bezstrojovnové výtahy

Summary:

The diploma thesis deals with the issues of diagnosis wear of power units of traction machine-room-less elevators. It solves the problem of bad or impossible access to the motor drive and subsequent possibility of using verification methods state of technology. It was created and applied methodology for measuring the wear of the drive. The principle of this method was the measurement of vibration. This led to defining and evaluating data to set the system control tool. Weak point of normative regulation was defined by analysis of the subject standards and this place was recommended to its modification and completion.

Key words: the lift, power units, machine-room-less elevators

Obsah:

1	Úvod.....	6
2	Problematika konstrukce bezstrojovných výtahů	7
2.1	Konstrukční řešení s rozdílným umístěním pohonu	9
2.2	Konstrukční řešení s rozdílným provedením strojů	12
3	Popis současného stavu diagnostiky závad u vybraného zařízení dle zadání tématu práce.....	17
3.1	Mechanické měření.....	17
3.2	Tribotechnická diagnostika	22
3.3	Sledování vývoje životního cyklu.....	24
3.4	Vady.....	26
3.4.1	Ložiska.....	26
3.4.2	Převodové soukolí.....	29
4	Provedení provozních měření	30
4.1	Měřicí přístroj	36
4.2	Postup provádění měření.....	39
4.3	Vyhodnocení měření	42
5	Výpočty a návrh nového způsobu diagnostiky	45
6	Návrh úpravy normy	52
7	Závěr	53
8	Použité zdroje.....	55
9	Seznam obrázků.....	56
10	Seznam tabulek	56
	Příloha 1: Výsledné grafy z provedeného měření	I-X

1 Úvod

Práce se zabývá problematikou diagnostiky opotřebení pohonné jednotky bezstrojovnových trakčních výtahů. Bezstrojovnové hydraulické výtahy dle ČSN EN 81-2+A3 [1] tak v této práci nejsou řešeny. Konstrukce výtahů, které tato práce analyzuje, jsou konstruovány dle ČSN EN 81-1+A3 [2]. Zabývá se přístupem k soustavě trakčního pohonu a následné možnosti analýz současných ověřovacích metod a prověřování stavu jeho jednotlivých částí, dále pak rozdílností jednotlivých používaných konstrukcí, vhodnostmi a zápory jejich jednotlivých částí. Účelem zavedení efektivní diagnostiky je zvýšení bezporuchovosti, snížení doby odstávky v případě provádění měření, ověření opotřebení a předejití tak havarijním stavů.

Motivací k vypracování této diplomové práce byla událost havárie osobního výtahu v pražském metru v prosinci 2013. Výtah procházel běžnou servisní kontrolou dle ČSN 27 4002 [3] a dle vyhlášky 100/1995 Sb. [4]. Procházel i pravidelnými revizními prohlídkami a dále prohlídkami a zkouškami pro výtahy dle UTZ zařízení (určená technická zařízení dle zákona 100/1995 Sb. O drahách). Na základě provozu výtahu na *dráze speciální* byla frekvence kontrol vyšší, než je běžné v občanské vybavenosti dle zařazení VTZ. Z žádné kontrolní činnosti však nevyplýval ani náznak opotřebení nebo dokonce snad blížící se havárii. Postupné dosahování mezního stavu se tak blížilo bez jakéhokoli upozornění na nutné provedení opravy k předejití havárie. Výsledkem dosaženého mezního stavu byla absolutní ztráta kinematické vazby mezi brzdou motoru a trakčním kolem pohonu.

Jediným zařízením zajišťujícím bezpečnost cestujících je tak systém zachycovačů kabiny. Výtah se však zastaví až ve chvíli zapůsobení brzdných čelistí zachycovačů spuštěných omezovačem rychlosti. V některých případech, jako byla událost v pražském metru, někdy dochází k zaklesnutí zachycovačů pro směr nahoru. Jejich aktivace je definována v ČSN EN 81-1+A3 [2] bodu 9.10.1. Podmínka aktivace je předepsaná dosažením zvýšení nominální jízdní rychlosti o 15 %. V případě vybavení zachycovačů při jízdě směrem nahoru, se provádí uvolnění zaklesnutých klínů směrem dolů. Při méně kvalitním zaklesnutí může dojít k jejich zpětnému samo uvolnění. Lze předpokládat, že by tak následkem nekontrolované jízdy kabiny směrem dolů došlo k opětovnému zapůsobení zachycovačů opačným směrem. Toto však platí jen v případě zvýšení rychlosti dle ČSN

EN 81-1+A3 [2] bodu 9.9.1 o 15 %. Při nižší rychlosti by tak mohlo dojít k dosednutí kabiny na nárazníky v prohlubni šachty výtahu.

Důvody pro vypracování této práce jsou tak min. dva. Jedním důvodem je zajištění stavu předejití nutnosti vybavení zachycovačů, tím druhým důvodem je zajištění správného plnění předmětu normy ČSN EN 81-1+A3 článku 6, bodu 6,1 tím je zajištění všech potřebných kontrolních činností. Vzhledem k plnění všech normativně stanovených činností a skutečné události havárie v pražském metru je možné se odůvodněně domnívat zanedbání kontrolní činnosti pro zajištění bezpečnosti provozu výtahu vlivem nedořešené konstrukce všech bezstrojovnových výtahů.

Vážnost události tak vedla k mnoha otázkám. Jednou z nejdůležitějších byla otázka, zda-li bylo možné celé havárii předejít. Cílem práce je nalézt kvalitní a funkční metodiku ověřování provozních stavů jednotlivých částí a předejití provozu zařízení bez znalosti jeho stavu při provozování. Účelem je prověření reálnosti provádění kontrolních činností a tuto činnost následně zanást do platné normy jako základní požadavek na provoz a především projekci bezstrojovnových výtahů – podání žádosti na doplnění platné normy.

2 Problematika konstrukce bezstrojovnových výtahů

V oblasti technologie zdvihacích zařízení se vyskytuje mnoho různých konstrukcí. V našem případě se vyhneme hydraulickým výtahům [1], nadále se tak budeme zabývat jen elektrickými výtahy [2] s trakčním lanovým pohonem. Již ze zadání je zjevné, že řešíme provedení konstrukce bez použití samostatné strojovny. Přesnější označení je tak umístění strojovny v šachtě výtahu. V praxi je pak tato část řešená v prohlubni šachty, na dně šachty, nebo u stropu šachty, neboli v horní části šachty. Jestliže u strojovnového řešení je ve strojovně výtahu umístěn pohon, rozváděč výtahu a hlavní vypínač, v případě bez strojovny je tato část technologie řešená uvnitř šachty. Pohon a někdy i část rozváděče jsou tedy umístěny ve výtahové šachtě. Změna umístění uvedených komponentů má za následek zhoršení přístupnosti, kdy při provozu není možná vizuální kontrola. V některých případech je i znemožněn poslech provozu, protože je jednoduše přehlušen jiným zdrojem hluku. Tím je mnohdy samotný pohyb kabiny či provoz dveří výtahu. Hlavní vypínač a část nouzového ovládání výtahu je téměř vždy instalovaná na nástupišti. Důvodem

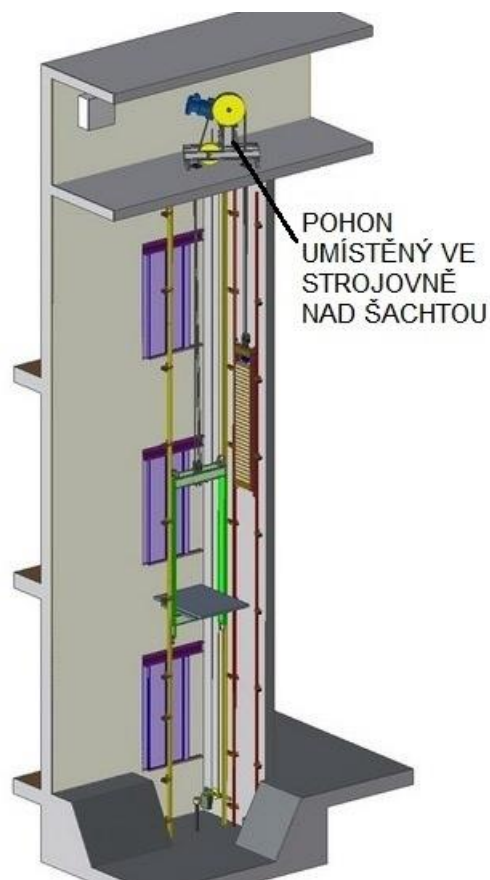
takového umístění je nutnost kontroly pohybu kabiny v průběhu vyprošťování cestujících při poruše výtahu. Náhradním řešením, kdy není možná instalace nouzového ovládní na nástupišti výtahu, je instalace kamerového systému do prostoru šachty pro zajištění možnosti sledování pohybu kabiny při vyproštění ze vzdáleného místa umístěného rozváděče.

Primárním důvodem vzniku těchto konstrukčních „paskvilů“ byla snaha nalezení konstrukčního řešení instalace výtahu tam, kde nebyl prostor pro umístění strojovny. Sekundárně se tak ale našel způsob úspory prostoru strojovny, která pak projektantům umožnila lepší zhodnocení uspořené metrů. Převedení technologických metrů na komerční využití je dnes velmi žádané a umožňuje tak prodej uspořené metrů v podobě části nového bytu nebo kanceláře. V době vývoje této konstrukce si tak patrně nikdo nepředstavil, že tento aspekt bude z komerčních důvodů upřednostňován. Nová myšlenka bezstrojovnové technologie tak nevedla hlavně k pokroku, nýbrž k bezhlavému komerčnímu zneužití. Drtivá většina bezstrojovnových výtahů je dnes instalována v novostavbách a jejich nevýhody se ukazují až nyní, po několik letech provozu. Vývoj trendu realizace preventivní servisní údržby vede ke zkracování servisních úkonů za účelem vyššího zisku servisní organizace. V lepších případech jsou některé nutné preventivní operace přeneseny do revizních činností jako součást před revizní přípravy nebo po revizní opravě. Zanedbané preventivní operace však vedou k častějším havarijním odstávkám v provozu. Havarijní výjezdy jsou mnohdy fakturovány zvlášť a tak dodavatelům i více vyhovují. Úpadek servisní činnosti je tak následkem nezvládnuté kontrolní činnosti dodavatelů. Nastavení kontrolního mechanismu dodavatelů je však velmi složité a především má za následek nutnost provádění odborného dohledu při všech prováděných činnostech. Ten je však málokdy reálný a je především podmíněný vysokou odborností.

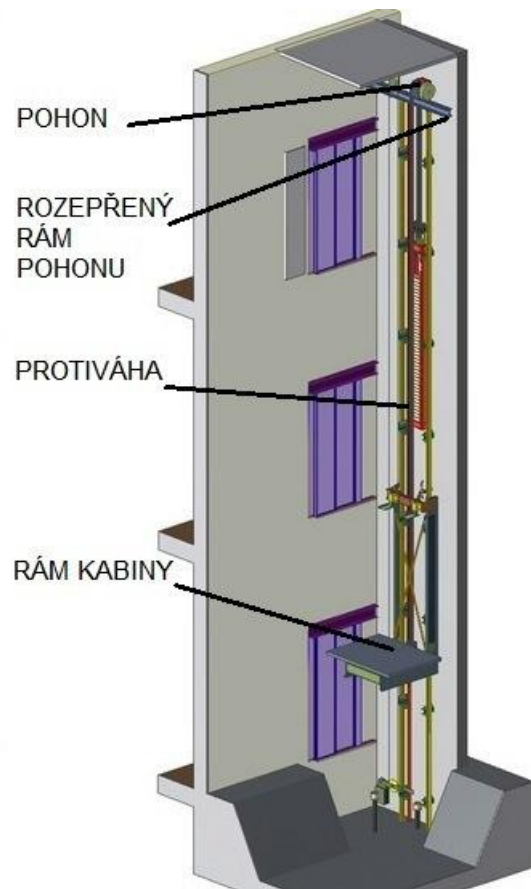
Málokdo však tento problém zná a předhánějící se dodavatelské společnosti projektují výtahové šachty stále menší a menší. Účelem je obsazení projektu a znemožnění změny typu výtahu ve snaze získat svého zákazníka a zvítězit nad konkurencí. Následkem konkurenčního boje dochází k opomíjení servisních potřeb a požadavků. Otázkou vhodnosti či naprosté nevhodnosti provedení navrhovaného výtahu se při realizaci téměř nikdo nezabývá. Předpokládaný vývoj v této oblasti tak patrně přinese nutnost vzniku nezávislých poradenských kanceláří, jejichž přínos pro uživatele bude časem narůstat.

2.1 Konstrukční řešení s rozdílným umístěním pohonu

Konstrukce strojovnového výtahu se strojovnou nad šachtou **Obr. 1** je ve své podstatě porovnatelná s konstrukcí bezstrojovnového výtahu s umístěním stroje v horní části šachty **Obr. 2**. Podlaha strojovny je převedená do vynášecího rámu umístěného pod stropem šachty. Způsob uložení rámu se pak odvíjí od orientace vodících kolejnic výtahu a nosnosti výtahu. Existuje celá řada rozdílných konstrukcí. Od rámu ukotveného k vodítkům kabiny a protiváhy po samostatné rámy uložené v nikách stěn šachty. Za dobu využívání bezstrojovnových výtahů došlo ke vzniku celé řady inovativních konstrukcí. Všechny konstrukce mají mnohé společné, tím je i mj. změna přístupnosti k jednotlivým komponentům výtahu. Výtahový stroj umístěný na ocelovém rámu, často jen s malou vzdáleností od stropní konstrukce je potencionálním zdrojem emise akustického tlaku hluku se zhoršenými parametry pro následné izolování. Hluk způsobený emisí provozu motoru, který je následně převeden vibrací z točivého momentu do dalších hlukových mostů, je částečně izolován vibračními podložkami mezi pohonem a rámem pod strojem. Míra vibrací je vyšší, o co je větší vzdálenost kotvicích prvků od osy zdroje točivého momentu. Zdrojem momentu je mj. pohon, přesněji motor a jeho osa rotace je spodní hrana ukotvení. Čím větší je pohon, tím dochází k zesílení točivého momentu.



Obr. 1 Sch. strojovného výtahu s centrálním rámem kabiny [5]

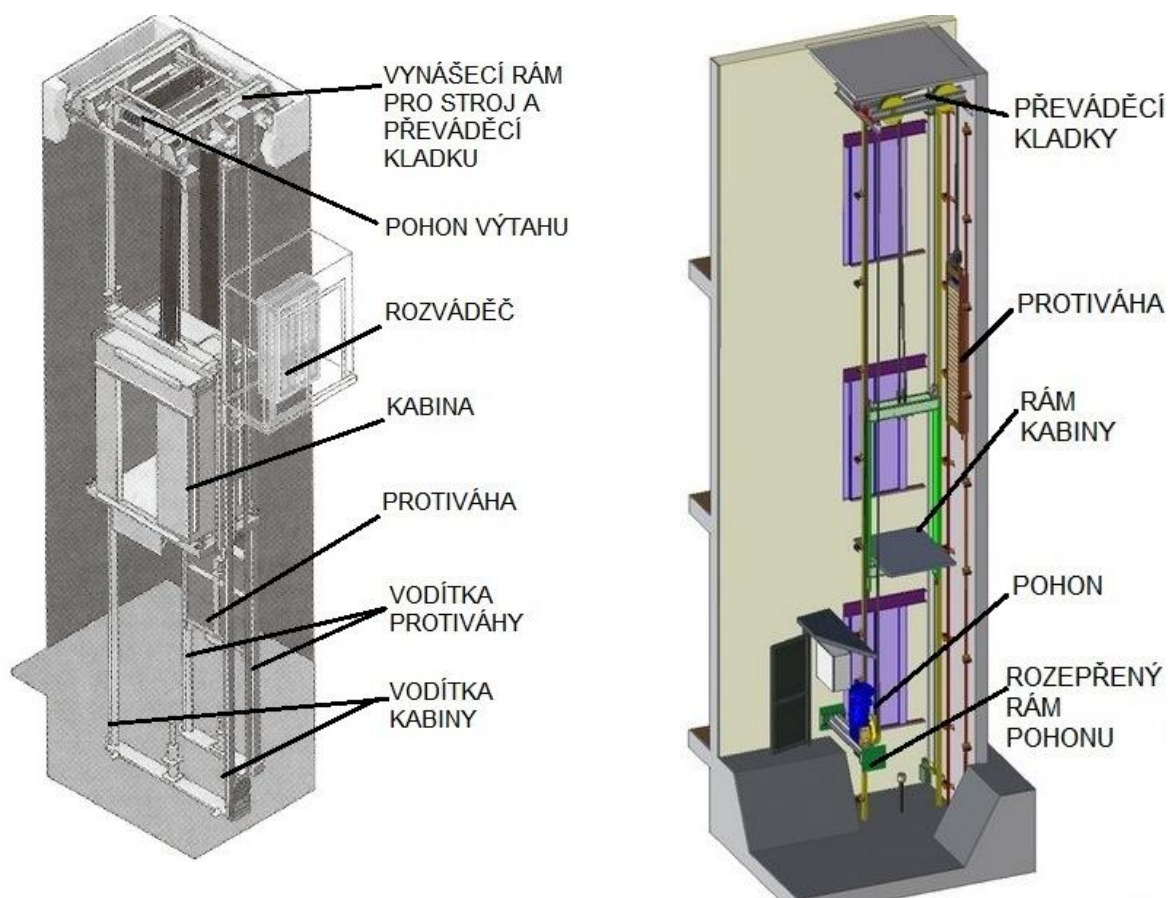


Obr. 2 Sch. bezstrojovného výtahu s ruksakovým rámem kabiny [5]

V případě konstrukce rámu stroje kotvené na vodících kolejničích **Obr. 2** je působiště silových účinků směřujících v ose y orientováno dolů přes vodící kolejnici na dno šachty a do základové spáry. Část vibrací je přenášena zpět v ose x a z do konstrukce šachty výtahu. U provedení se samostatným rámem stroje **Obr. 3**, který je tak usazen v nikách šachetních stěn, nebo na patkách kotvených na stěnách šachty, je působiště přeneseno v ose y směrem dolů do dalších konstrukcí stavby. Nedochozí tak k zesílení nebo vedení vibrací vibračním vodičem tvořeným vodícími kolejnici výtahu. Zdroj vibrací je dále přenesen do stavby v podstatně menší vzdálenosti od zdroje vibrací. Výsledky měření jsou tak vždy rozdílné u každé z provedených konstrukcí. Každá konstrukce je jinak ovlivněna budičem vibrací. U citlivých měřicích přístrojů je při měření zachyceno

i znečištěné pozadí v klidovém stavu výtahu. Při měření vývoje životního cyklu soustavy však není nutné k tomuto defektu měření přihlížet za podmínky stejného stavu stavební či výtahové konstrukce. Každé měření je tak ovlivněno stejným zkreslením.

Dalším možným řešením je umístění pohonu na dně šachty **Obr. 4**. Ve většině případů se jedná o umístění pohonu na vynášecím rámu vzepřeného v nikách nebo patkách rozporem do stěn šachty. U výtahů o nižších nosnostech je pohon ukotven přímo do dna nebo boku šachty výtahu. Z pohledu vzniku imise akustického tlaku hluku se jedná o více nepříznivé řešení. V případě instalace výtahu s obsluhou nejnižšího podlaží se vibrace přenáší již základovou spárou. Její šíření tak může být vedeno do vyššího počtu vibračních mostů v ose x a z . Výsledek měření je tak opět ovlivněn pozadím vibrace konstrukce stavby a výtahu. Přístup k pohonu a k možné diagnostice je však v tomto řešení neporovnatelně lepší. Nad pohonem je více místa, je výrazně lepší manipulace při umístění měřicího zařízení a odečítání ze stupnice měřících přístrojů je díky tomu lépe realizovatelné.

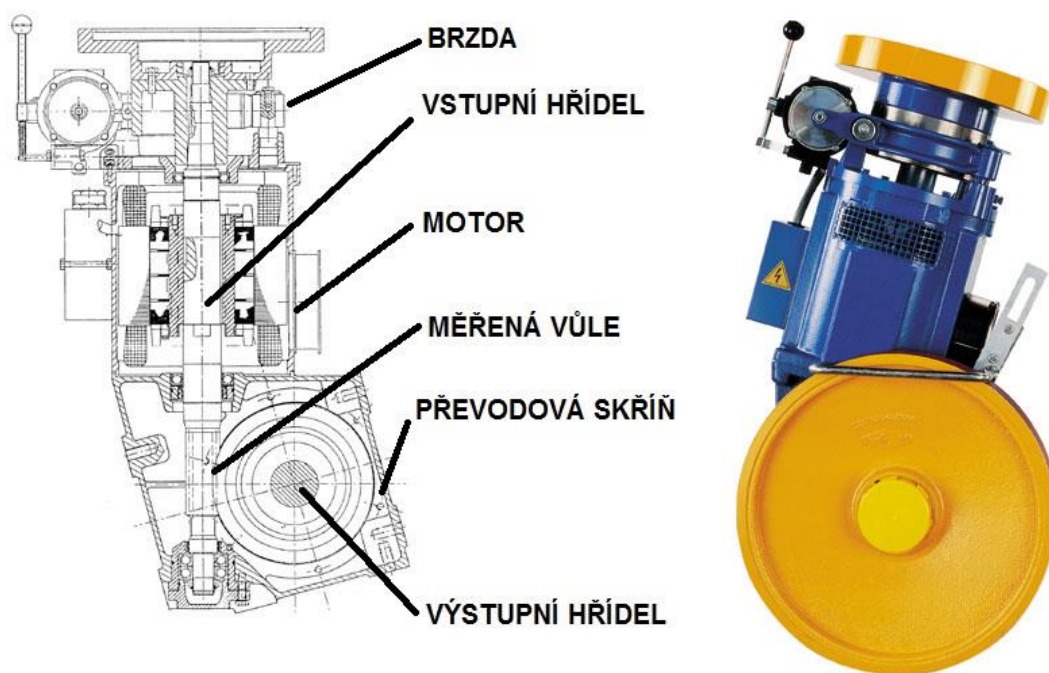


Obr. 3 Sch. bezstrojovného provedení výtahu GeN2 [6]

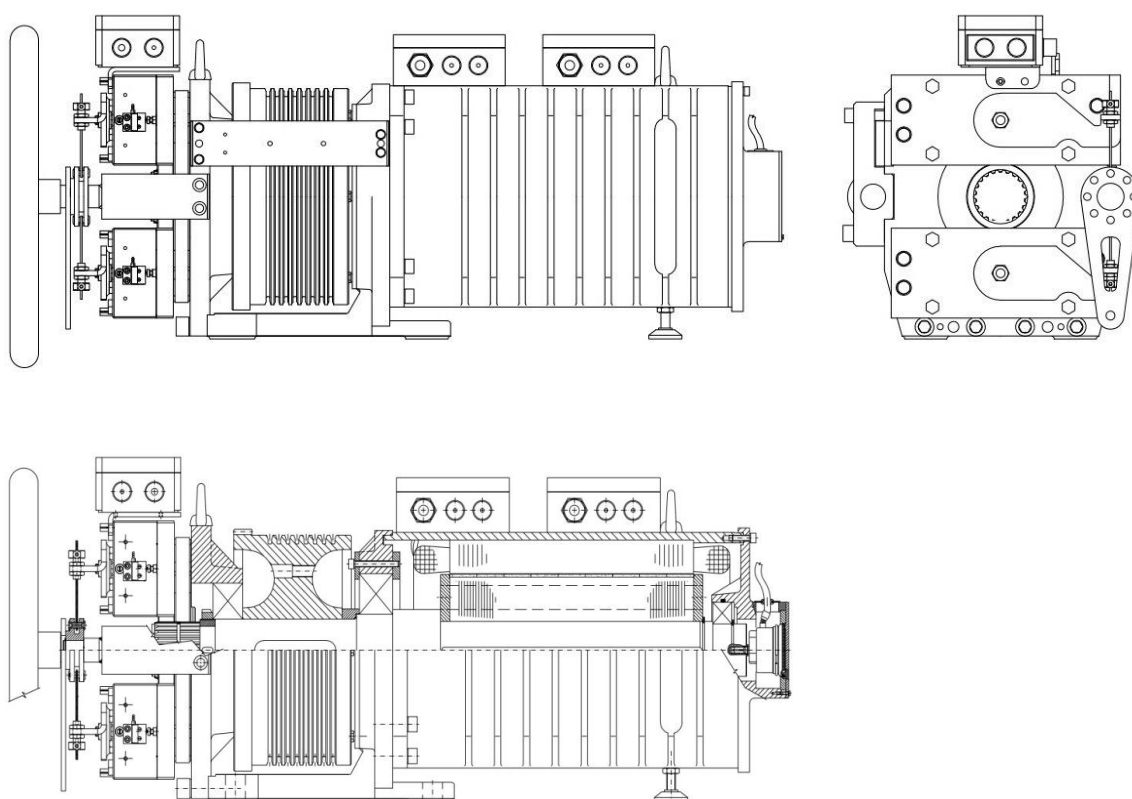
Obr. 4 Sch. bezstrojovného provedení s centrálními vodičky kabiny [5]

2.2 Konstrukční řešení s rozdílným provedením strojů

Používané konstrukce pohonných jednotek jsou buď s převodovou skříní **Obr. 5** nebo bez použití převodové skříně tzv. bezpřevodové pohony **Obr. 6**. Rozdíl je nejen v provedení, ale především v životnosti. Zatímco převodové stroje mají počet otáček v řádech tisíců otáček za minutu v závislosti na konstrukci a dopravní rychlosti výtahu, bezpřevodové pohony jsou využívány obvykle v rozmezí 80 až 120 otáček za minutu. Dalším rozdílem je samotné řízení pohonů. Bepřevodové pohony, na rozdíl v případě použití převodů, lze řídit pouze přes frekvenční měnič, který snižuje otáčky.



Obr. 5 Převodový stroj Sassi Leo[7]



Obr. 6 *Bezpřevodový stroj EM Brno* [8]

Převodový výtahový pohon je ve své podstatě sériové zapojení strojních komponentů. Ty jsou tvořeny následujícími komponenty: setrvačnick, dvojčinná brzda (dříve používaná jednočinná brzda), asynchronní nebo synchronní motor, převodová skříň s převodovým poměrem pro snížení rychlosti otáček motoru s připojením přes hnanou vstupní hřídel a trakční kolo. Již z pořadí komponentů je zjevné, že ztráta kinematické vazby brzdě při přerušení spoje v převodové skříni má za následek zásadní neovladatelnost trakčního kola. Složitost sestavy je pak důvodem možné příčiny již počátečních vyšších vibrací, než je tomu u bezpřevodového pohonu. Zhoršená kvalita provedení sestavy pohonu, vysoké otáčky motoru a typ nevhodné konstrukce umístěného pohonu negativně ovlivňují okolní životní prostředí. Samotná ztráta kinematické vazby pak může být způsobena opotřebením zubů, destrukcí ložisek vlivem opotřebením nebo případně střížením pera na některém z ozubených kol v případě jeho použití. Pravděpodobnost selhání je tak vyšší, než je tomu u jednodušší bezpřevodové konstrukce. Toto je si potřeba uvědomit a vždy při projekci důsledně kontrolovat vhodnost a především správnost projektované sestavy. Každá sestava je pak různě dynamicky pružná, její pružnost se projeví při měření vibrací, ta je navíc ovlivněná dalšími částmi sestavy výtahu, v neposlední řadě také

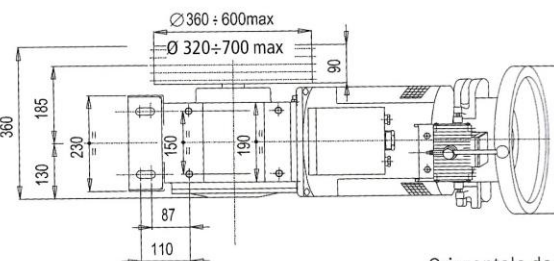
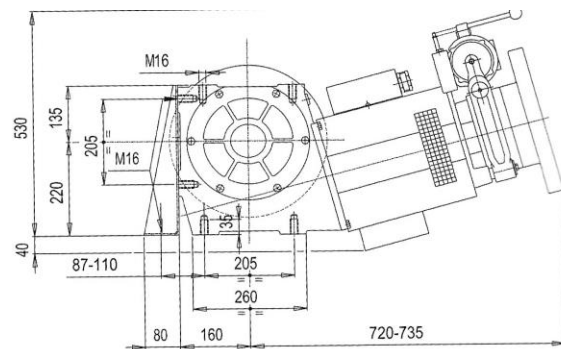
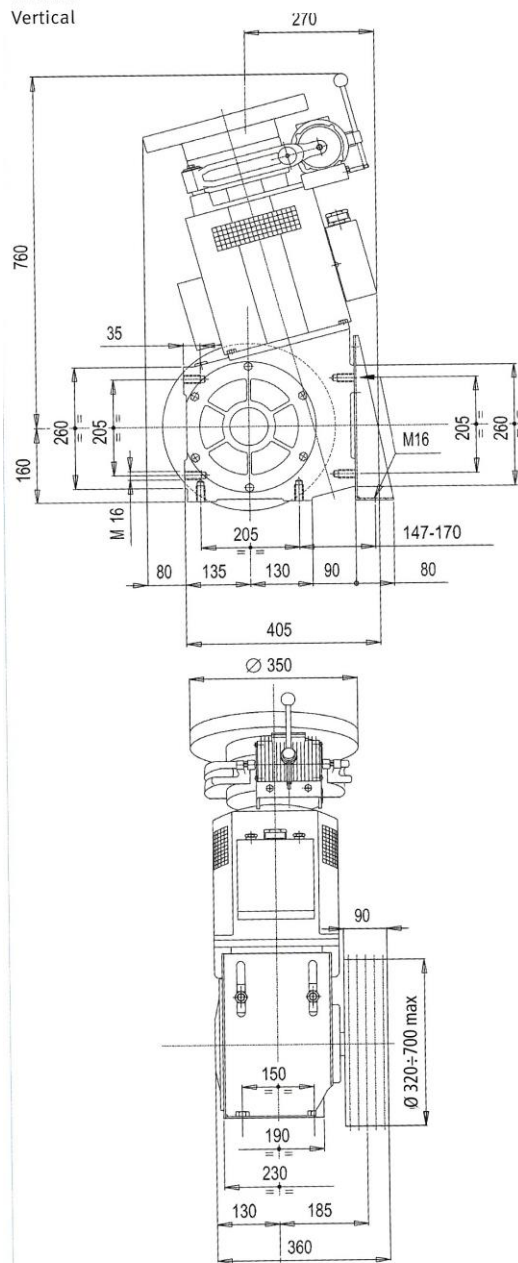
samotnou vibrační stavby, ve které je výtahový stroj měřen. Jestliže kapitola **2.1** hovoří o vibraci pozadí za klidu výtahu, zde se jedná již o přírůstek vibrace při provozu. Není tedy možné hovořit o stejných parametrech tuhosti či stálosti různých konstrukcí výtahů. I dva stejné výtahy o stejných parametrech a stejném typu konstrukce budou vykazovat různé výsledky vibrační pohony a jednotlivých částí výtahu stejně tak různou vibrační stavební konstrukce budovy.

Konstrukce bezpřevodového stroje je výrazným pokrokem doby. Důvodem proč přišla později, je nástup frekvenčního řízení. Dovolil bych si ji přirovnat k šlapacímu kolu a k automobilu. Již není potřeba přenos točivého momentu ze vstupní hřídele převodové skříně na výstupní hřídel. Všechny komponenty pohonu jsou na jedné ose. Chod stroje je celkově klidnější a životní cyklus, daný nižšími otáčkami provozu, je výrazně delší. Výrazným přínosem je mj. také velikost stroje, při instalaci stroje ve stísněných podmínkách bezstrojovných výtahů je tento parametr nezanedbatelný **Obr. 7** a **Obr. 8**. Hraničním komponentem životnosti pohonu jsou ložiska. Tak jako u předchozího typu konstrukce stroje jsou ložiska s takzvanou doživotní náplní mazání. Ani přes pokrokovou technologii konstrukce se i v tomto případě nevyskytuje žádné čidlo či kontrolní mechanismus k ověření stavu opotřebení. Věhlasné výtahové společnosti se ve svých prospektech chválí v dokonalosti jejich konstrukčního řešení, v pokroku v oblasti spotřeby el. energie a v oblasti jednoduchosti provádění servisu. Ano je pravdou, že tyto stroje jsou mnohdy neporovnatelně lehčí, jejich výměna či kontrola je jednodušší, ale stále to není zařízení, které když dochází ke konci životního cyklu, na sebe umí upozornit. Výtah se tak nezastaví, aby oznámil, že je potřeba provést opravu některé z jeho částí. I přes „dokonalé“ řízení výtahu mikroprocesorovým rozváděčem jede výtah bez znalosti svého stavu nahoru a dolů dál do doby selhání.

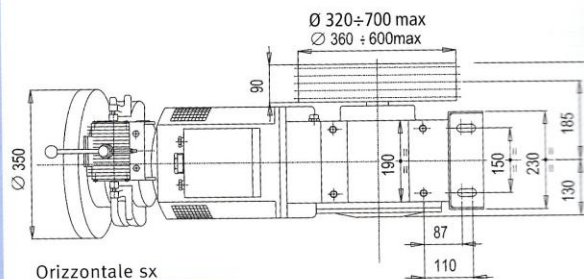
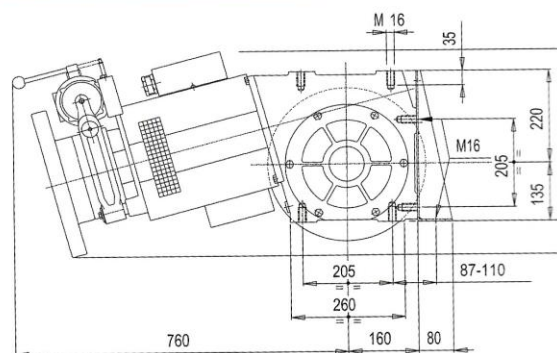
Všechny bezstrojovné výtahy jsou řízeny frekvenčním měničem a mikroprocesorovou řídicí jednotkou. Konstrukce elektronického ovládání se v zásadě ničím podstatným neliší. Protože pro oba typy konstrukcí platí stejná norma [2], jsou ostatní části srovnatelné. Výroba výtahů je z velké části ponížena do kombinace komponentů dostupných na trhu výrobců jednotlivých částí výtahu.

Nejoptimálnější konstrukce výtahu z hlediska životnosti pohonu a jednoduchosti provádění údržby je bezpřevodové provedení.

Verticale
 Vertical
 Senkrecht
 Vertical
 Vertical



Orizzontale des
 Horizontal rig
 Waagrecht recl
 Horizontal a drc
 Horizontal derec

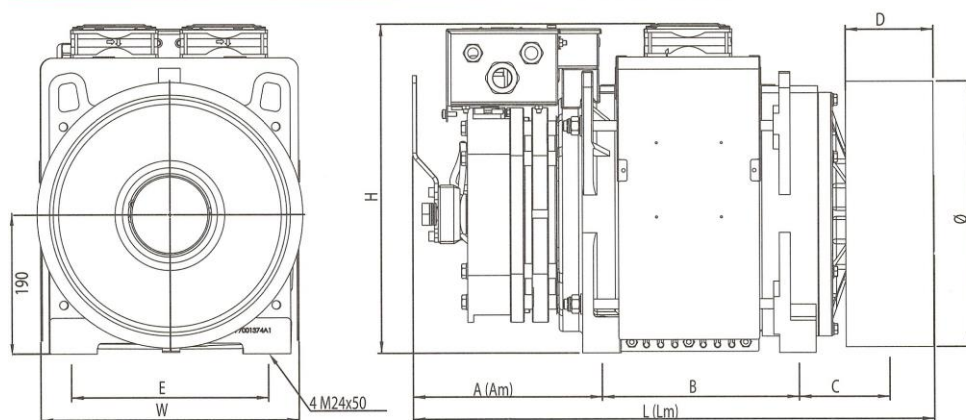


Orizzontale sx
 Horizontal left
 Waagrecht links
 Horizontal à gauche
 Horizontal izauierda

Obr. 7 Rozměrové vlastnosti převodového stroje Alberto Sassi Leo [7]

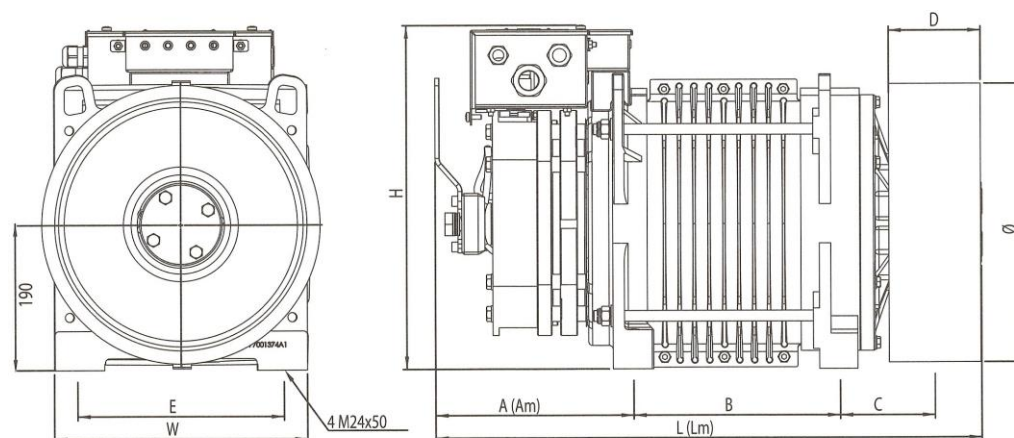
G-400

Gearless

**G-400 T1 - con ventilatori / with cooling fans**

TYPE G-400 T1	A	L	Am	Lm	B	C	E	W	H	D*	Ø
con carter ventilazione / with cooling fans	215	670	259	714	270	124	270	356	450	120	210-240-320*- 360-400
senza carter ventilazione/ without cooling fans	215	670	259	714	270	124	270	330	444	120	210-240-320*- 360-400

* Ø = 320 - * Disponibile con larghezza "D" = 150 mm * Ø = 320 - * Available also "D" = 150

**G-400 T1 - senza ventilatori / Without cooling fans**

Obř. 8 Rozměrové vlastnosti bezpřevodového stroje Alberto Sassi G-400 [9]

3 Popis současného stavu diagnostiky závad u vybraného zařízení dle zadání tématu práce

3.1 Mechanické měření

Protože při jízdě výtahu není možné provádět vizuální, poslechovou či jinou kontrolu opotřebení jednotlivých částí pohonu, dochází k této kontrole vždy až za klidového stavu. Servisní technik se tak výrazně ochuzuje o svůj poslech a pohled při provozu pohonu, které jsou jedním ze zásadních nástrojů při identifikaci závady. Při jízdě tak není možné provádět servisní úkony, které při přístupném pohonu ve strojovně výtahu provádět lze. Jestliže při strojovnovém řešení konstrukce je možné pohodlně za běžného provozu ověřovat otáčivé vlastnosti motoru, funkčnost a seřízení brzdy, u bezstrojovnového výtahu toto nelze. Provoz klidného a plynulého chodu otáček pohonu je vlastností, která je tak nekontrolovatelná. Stav opotřebení nosných či jiných lan je možné provést jen částečně z kabiny výtahu. Hluk a vibrace chodu pohonu při jízdě jsou přehlušeny samotným posunem kabiny. Tyto kontroly nejdou u bezstrojovnového výtahu provést, protože by to bylo jednoduše nebezpečné. Hrozilo by tak riziko sevření nebo skřípnutí těla servisního technika pohyblivými částmi výtahu.

Diagnostika se tak při jízdě odehrává jen v rozváděči. Většina případů řešení diagnostiky vychází z řízení pohonu frekvenčním měničem s porovnáním zpětné vazby z umístěného enkodéru na ose motoru. Výstupní data z diagnostiky a řízení výtahu jsou přenesena do přístupné části rozváděče na nástupišti. Jedinou elektronickou metodou diagnostiky je sledování průběhu času jízdy výtahu. Přesněji se jedná o porovnání času jízdy kabiny výtahu v šachtě a otáček motoru. Tato diagnostika je prováděna především z důvodu správného řízení polohy kabiny, nikoliv však za účelem sledování změn stavu opotřebení jednotlivých částí pohonu. Novodobou technologií řízení tak došlo k přesnější odezvě zastavení kabiny ve stanici. Analýza řízení pohonu je porovnávána s pozičními snímači v jízdni dráze výtahu. Nelze tedy hovořit o systému, který by nahrazoval kontrolní mechanismus prováděný servisním technikem u strojovnové technologie. Moderní metody diagnostiky opotřebení v této oblasti stále nejsou zavedeny. Sledování vibrací, které jsou hlavním projevem opotřebení, se neprovádí.

Dle některých výrobců pohonů je doporučeno provádět kontrolu opotřebení zubů v převodovém ústrojí. Její provádění je realizováno formou měření zubové vůle úchylkoměrem. Prováděnou metodou kontroly je mechanické měření. To je možné jen za klidového stavu. Opotřebení ložisek se u převodových strojů neprovádí. Bezpřevodové stroje se mechanicky nekontrolují vůbec. Tato metodika měření je však závislá na možnosti přístupnosti a především dostupnosti měřících bodů. V případech, kdy je pohon umístěn v horní části šachty, je u většiny konstrukcí nutné provádět měření po provedení demontáže pohonu **Obr. 9**. To je však zdlouhavé, protože je to proveditelné až po kompletním odstavení výtahu a demontáži samotné pohonné jednotky.



Obr. 9 Foto umístěného pohonu na výtahu 613-1-217 ve stanici pražského metra Ládví

U některých výtahů vede úkon demontáže pohonu i k nutnosti výstavby lešení nebo instalace speciálních lávek k zajištění bezpečnosti při práci demontáže motoru. Pokud je horní část šachty nižší a stroj je ukotven v méně výhodné pozici, je možné provést demontáž pohonu jen za použití specifických přípravků. Realizace měření je tak velmi závislá na mnoha faktorech. Než dojde k fyzické kontrole opotřebení, může uběhnout i řada dnů. Každá odstávka výtahu je velkou nepříjemností pro provozovatele a především pak pro uživatele. U konstrukčního řešení umístění pohonu v prohlubni je dostupnost kontrolních bodů výrazně lepší. Avšak i v tomto případě je nutné provést tzv. vyvěšení lan. Jednoduše musí dojít k odlehčení trakčního třecího kola tak, aby bylo možné volně pohybovat výstupní hřídelí z převodové skříně.



Obr. 10 Foto místěného pohonu na výtahu 613-1-423 ve stanici pražského metra Prosek

K měření vůle v soukolí se používá úchylkoměr umístěný na magnetickém stojánku **Obr. 11**. Úchylkoměr je ukotvený v magnetickém držáku, ten se usadí na zadní straně rámu pohonu (převodové skříně), hrot úchylkoměru se opře o žebro trakčního kola v určené vzdálenosti od osy rotace výstupní hřídele **Obr. 12**. Měřicí bod a vzdálenost osy od místa dotyku hrotu úchylkoměru je daná výrobcem pohonu. Toto platí u případů, kdy toto výrobce stanovil. Přes setrvačnick se v odbrzděném stavu otočí motorem vstupní hřídelí pohonu vnitřním soukolím tak, až dojde k opření zubů v převodové skříně, to se projeví jako otočení trakčním kolem, posunem ručičky na měřící stupnici úchylkoměru. Úchylkoměr se vynuluje (nastaví na výchozí bod) a následně se stroj zabrzdí. Nyní se zkusí pootočení trakčním kolem, vůle v soukolí se projeví jako výchylka na úchylkoměru. Její hodnota se odečte na stupnici úchylkoměru. Výrobní vůle je většinou v řádech setin mm. Reálná vůle za dobu používání pohonu je v řádech desetin mm. Například maximální provozní vůle pro mezní stav u motoru Sassi Leo je 0,7 mm. Při takovéto vůli musí být motor (výtah) ihned odstaven. Realizace měření zubové vůle je možná za předpokladu dostupnosti zadní části trakčního kola a zároveň i vizuálního pohledu na zadní část stroje respektive umístěný úchylkoměr. Tento postup byl konzultován s italským výrobcem pohonů Alberto Sassi. Jeho ověření bylo následně zkontrolováno přímo ve výrobní závodě v italském Crespellanu, kde proběhla ověřovací zkouška opotřebení pohonu z výtahu 613-1-217 ze stanice metra Ládví. Tento pohon byl odstaven již na základě zavedené metodiky měření touto diplomovou prací. Na základě předání zkušeností zajistil výrobce proškolení pracovníků pražského metra v oblasti identifikování opotřebení zubového soukolí a následné provedení kompletní repase celého převodového ústrojí včetně

provedení výměn ložisek v celém pohonu. Ostatní výrobci provozní ani hraniční vůle neuvádějí, nestanovili ani návod na provádění kontrol. Obecně však lze usuzovat, že kontrola vůle dle firmy Sassi bude proveditelná i na jiných strojích. Protože ovšem není definovaná zubová vůle, bude nutné při vyhodnocování postupovat značně obezřetně. Z pohledu jakosti a spolehlivosti platí poučka, raději dříve, než-li pozdě. V souboru několika součástí to znamená následující: pokud dojde k opravě dříve, bude provedená oprava v menším rozsahu a nedojde k vyšší škodě či destrukci dalších částí jako například ozubení. Pokud bych měl tuto tezi aplikovat, pak je tato problematika velmi dobře viditelná u havárií ložisek. Pokud dojde k opotřebení ložiska do fáze úplného rozpadnutí klece kuliček v kuličkovém ložisku, dojde k vypadnutí kuliček a k zásadní změně vůle v ložisku. Ta se v ten moment může pohybovat v milimetrech, což může znamenat úplné opření zubových kol v převodovém soukolí. Následně tak dojde k podřezání patové kružnice. Toto může vést až k ulámaní zubů. Opačný případ platí, pokud dojde k výměně ložisek dříve, kde teprve dochází k opotřebení, nedojde tak k ovlivnění zubového soukolí a tedy ani k poškození. Výsledkem včasné výměny ložisek jsou nižší náklady na opravu bez zásahu do zubového soukolí. Zatímco technik bude doporučovat výměnu, ekonom bude číslly poukazovat na dostatečný čas k opravě a na drahou údržbu. Nalezení rovnováhy mezi výměnou či opravou a posečkáním je předmětem celé řady oborů. Předjetí mezního stavu některé ze součástí sestavy pohonu lze dosáhnout za předpokladu využití kombinace některého z úkolů diagnostiky. Tyto úkoly jsou v mnoha literaturách rozděleny do tří skupin.

Diagnóza – určení okamžitého technického stavu stroje

Geneze - určení příčin tohoto stavu

Prognóza – určení časového maxima následné změny technického stavu stroje [10]



Obr. 11 Magnetický stojánek s úchylkoměrem.



Obr. 12 Ukotvení stojánku s následným provedením měření opotřebení. Vertikální poloha stroje Alberto Sassi Leo

Pokud by mělo dojít k zjištění opotřebení i ložisek metodou kontroly zubové vůle, muselo by být opotřebení již výrazně vysoké a bylo by vždy těsně před nebo po dosažení vrcholu mezního kritického bodu. Vznikající vibrace rotačních těles, rotoru a jeho vychylování z osy rotace v důsledku opotřebení ložisek se touto metodou nezměří. Z důvodu složitosti a zdlouhavosti se tak tento úkon téměř neprovádí. V rámci zpracování této diplomové práce byl uskutečněn jednoduchý výzkum znalosti problematiky měření

opotřebení u servisních výtahových společností. Nikdo z dotazovaných o této problematice nevěděl. Znamená to tedy, že žádná z dotazovaných společností tuto diagnostiku pravděpodobně neprováděla. Není náhodou, že tento problém se prvně objevil v těžkém provozu pražského metra. Zatížení přepravních strojů zde prochází svou životní zkouškou. Vysoká frekvence využívání dopravy spojená s velkým množstvím cestujících ověří i ty nejtěžší konstrukce.

3.2 Tribotechnická diagnostika

Tribotechnická diagnostika je založena na analýze cirkulujícího maziva v převodové skříní. V praxi se provádí odebíráním vzorků ze strojního zařízení, které se pak následně v místních nebo laboratorních podmínkách dále testují a zkoumají. Účelem rozboru je ověření přítomnosti příměsí a nečistot v odebraném vzorku. Porovnáváním odběrů se sleduje vývoj znečištění formou porovnávání množství příměsí. Z výsledků je tak možné vysledovat závažnost a stav opotřebení soukolí.

Tribotechnická analýza plní tři hlavní úkoly, a to:

1. Sledování stavu opotřebení strojního zařízení na základě stanovení obsahu otěrových kovů v mazivu, přičemž důležitý je hlavně trend naměřených hodnot.

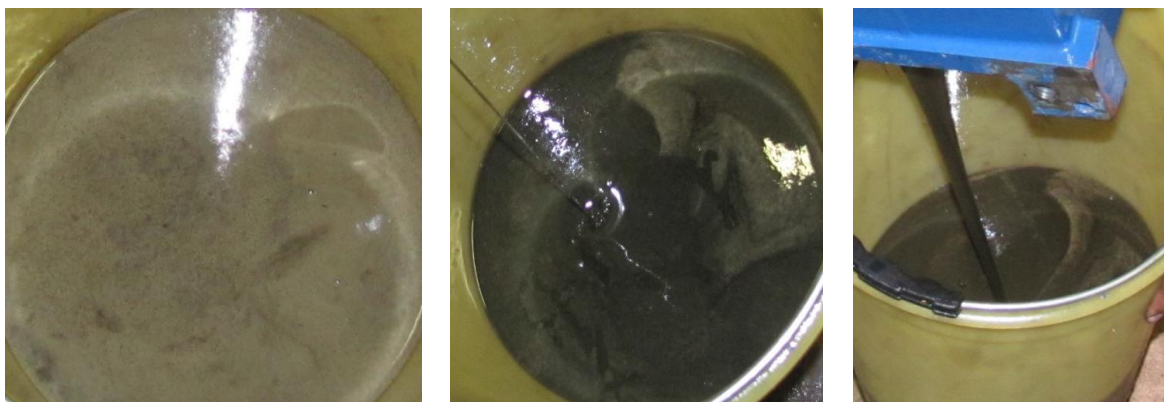
2. Určení životnosti maziva zjištěním stupně jeho znehodnocení jak produkty tepelně-oxidačních procesů, tak i vnějšími nečistotami. Zvýšené množství nečistot v oleji znamená nejen větší opotřebení mazných částí, ale obsažené úsady mohou ucpávat mazací otvory a drážky. Životnost maziva je vyjádřena souborem objektivně stanovených ukazatelů.

3. Stanovení optimálních lhůt pro výměnu jednotlivých maziv.[11]

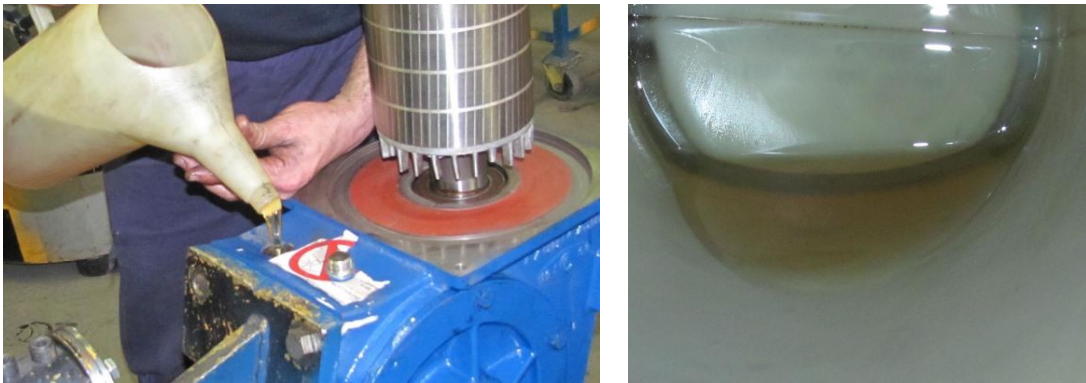
Součástí tribotechnické diagnostiky je celá řada různých metod analýz upotřebeného oleje. Mezi základní metodiky patří především viskozita, bod vzplanutí, číslo kyselosti. K dalším speciálním metodikám patří Atomová absorpční spektrometrie AAS, rychlometoda RAMO pro přibližné stanovení obsahu příměsí v odebraném vzorku čtyř základních kovů (Fe, Cu, Pb a Al) a metoda ferografie, která je založena na poznatku že uvolněné částice kovů lze rozdělit podle jejich velikosti v magnetickém poli. Pro některé metodiky je potřeba znát složení materiálů, ze kterých je převodové soukolí vyrobeno. Pro

základní ukazatel však mnohdy postačí sledování viskozity viskozimetrem. Maximální přípustná odchylka od výchozího stavu čistého nového oleje je v rozmezí 25 – 30 %. Jde tak o jednoduchou a také nejlevnější metodikou. Podrobnější a přesnější metodiky se provádějí v laboratořích.

Při zvyšování cen maziv je tato diagnostika jistě přínosem, ale většina výtahových strojů obsahuje řádově tři litry oleje. Při každém odběru by tak bylo nutné ihned objem doplňovat. Dalším problémem je odtokový otvor v převodové skříně. Některé převodové skříně nejsou konstrukčně uzpůsobeny k provádění odběrů a tak není možné vzorky odebrat. Z **Obr. 13** je však zřejmé, že tato metodika má rozhodně v oblasti diagnostiky své místo. První zobrazuje postupné zlátnutí vzorku způsobené příměsí otěrových částic bronzové slitiny, další postupně tmavne a v poslední fázi i výrazně houstne. U poslední fáze je pak zjevné, že při procesu zatékání oleje do všech mazacích míst jednoznačně k správnému mazání ani nemohlo docházet. Jednotlivé mazací kanálky se postupně zanáší, až dojde k jejich ucpání. Na následujícím **Obr. 14** je pak zjevné, že viskozita nové náplně je výrazně nižší a olej již na první pohled vykazuje výraznou průzračnost.



Obr. 13 *Výměna opotřebovaného oleje a jeho postupné znečištění*



Obr. 14 *Opětovné doplnění oleje, nový výchozí bod životnosti oleje*

Každá laboratorní zkouška, včetně následného doplnění minimálního množství oleje v převodové skříně, je finančně citelná s úměrným zvyšováním ceny způsobené vyšší frekvencí prováděných odběrů roste i finanční náročnost. Především havárie je však velmi důležité a tento fakt nelze opomenout. Z pravidla se tak může jednat i o následnou úsporu v podobě nutné výměny převodové skříně, která by byla vždy spojena i s delší dobou odstávky a nutné vyšší investici v řádech i kolem sta tisíc korun českých.

Je však potřeba brát v úvahu, že ověřením stavu oleje nemusí dojít k ověření opotřebení ložisek. K takovému zkoumání je však vhodné již vlastnit i výkres řezu sestavy pohonu. Z výkresu tak může být možné ověřit, zda-li vedou do ložisek mazací kanálky. Ovšem ucpaný kanálek zabrání průniku nečistot do sběrné části oleje v převodové skříně a ložisko již může být poškozené.

3.3 Sledování vývoje životního cyklu

Současná úroveň provádění ověřování stavu jednotlivých částí pohonu výtahového stroje je na velmi nízké úrovni. Je velmi pravděpodobné, že žádné odvětví z diagnostik se k této úrovni nedostalo z důvodu zahlcení sledování opotřebení ostatních součástí výtahové technologie a opomenutí tak samotného pohonu. Je také možné, že důvodem je i poměrně mladá kategorie odvětví bezstrojovných výtahů. Zkušenosti s používáním původních převodových strojů ve strojovnové technologii, které vydrží řádově desítky let, milně navozují představu obecné bezporuchovosti pohonů. Kontrola pohonu se tak omezila na kontrolu opotřebení trakčního kola společně s opotřebením nosných lan. Kontrola opotřebení lan je stanovena v předmětné normě ČSN EN 81-1+A3 [2], která určuje

povinnost kontroly opotřebení lana a kontrolu funkčnosti jejich trakce. Některé ověřovací metody však nemají u bezstrojovných výtahů uplatnění. Důvodem nevyužití moderních metod je především nepřístupnost pohonu a nízká znalost těchto metod. Aktuálně se tak neprovádí ani porovnání progresu opotřebení při delší době provozu, neověřuje se vývoj životního cyklu sestavy, natož jejich jednotlivých součástí. Dokonce se neměří ani počet provozních hodin nebo počet startů za dobu provozu technologie. Nutno dodat, že taková úroveň kontroly se neprovádí ani u strojovných výtahů. Znamená to tedy, že inženýrské zpracování dat a především i jejich získávání nebo pak následné zpracování a vyhodnocení je v této oblasti stále velkou neznámou. Jejich uplatnění včetně aplikace samotné metodiky je tak otevřené.

Protože tento problém téměř nikdo z důvodu neznalosti neřeší, předhánějící se servisní a dodavatelské organizace mají dveře otevřené. Servis výtahů tak provádějí i méně znalí a především méně kvalitní dodavatelé. Provozovatel v podobě zákazníka je odkázán na různorodost nabídek servisních paušálů, ve kterých se tak ani nevyzná. Servisní obchodník se tak snaží v podobě ceny za nabízený servis motivovat k využití právě jeho služeb. Výše ceny je jediným hodnotícím kritériem. Ostatně ta je také definována i v zákonu 137/2006 Sb. zákonem o veřejných zakázkách. Rozdílnost nabídek se tak nepřipouští. Natož aby někdo přiznal, že kvalitní diagnostika, ve snaze uspořádat servisních nákladů skrytých v paušálních platbách, se jednoduše nedá za nízký paušál provést. Dalším důvodem je také neznalost na straně dodavatele v podobě nízkých zkušeností s realizací diagnostiky.

Ani kontrola zubové vůle v převodové soustavě, která se provést dá nebo kontrola stavu upotřebeného oleje, se neprovádí. Vhodná kontrola stavu ložisek, se dá zjistit jen dvěma způsoby, demontáží celého stroje a rozebráním nebo měřením vibrací. Oboje však servisní organizace nechávají na dobu úplného selhání nebo na dobu vzniku vysokého hluku, který však při provozu nemusí být vždy identifikován.

Teprve teď uživatelé poznávají, že v případě nutnosti provedení vybraných servisních operací, je nutné provést odstavení celého zařízení na delší dobu. Dokonce pro některé činnosti je nutné provést vystavění lešení v šachtě, tak aby bylo možné provést běžné servisní operace, které jsou běžně dostupné v případě strojovny výtahu, pakliže je strojovna řešená jako samostatný a dostupný prostor. Servisní operace, dříve proveditelné

v řádech minut, se tak dostávají na hranici několika dnů, nebo také na hranici neprovedení z důvodu vysokých nákladů.

Otevíráme tak problematiku, která je částečně řešena v normě ČSN EN 81-1+A3 článku 6, bodu 6.1. „*Výtahové stroje a kladky musí být umístěny v prostorech určených pro strojní zařízení a kladky. Tyto prostory a k nim příslušející pracovní prostory musí být přístupné. ...a musí být zajištěny prostory pro údržbu/kontrolu a pro činnost s nouzovým pohonem.*“ [2]. Ani jedno, z tohoto uvedeného, nesplňuje žádný bezstrojovný výtah. Jestliže pro kontrolu opotřebení je za potřebí dostatečný přístup k provádění diagnostiky, tak bezstrojovným výtahům takový prostor zcela chybí.

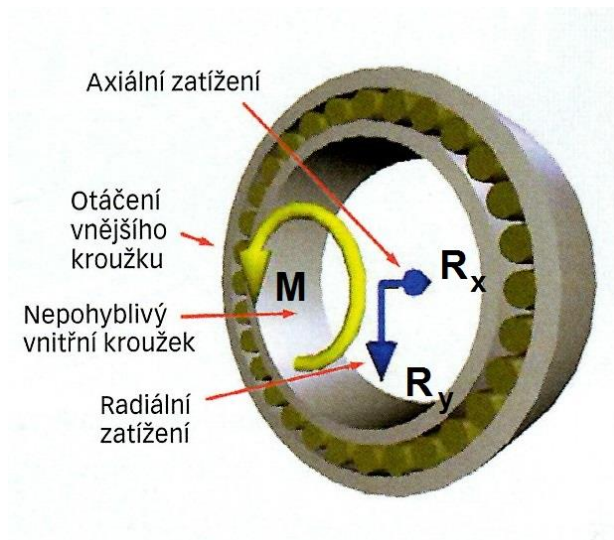
3.4 Vady

Jestliže hovoříme o nutnosti provádět kontrolu, je na místě popsat i oblast projevovaných vad. Nejprve je vhodné rozdělit oblasti vzniku opotřebení. Vady můžeme rozdělit na elektrické a mechanické. Elektrické vady lze měřit různými metodikami, např. při měření ztráty izolačního stavu je možné toto měření provádět i mimo provoz výtahu. Dále se tak budeme zabývat již jen mechanickými vadami. Protože inkriminovaným místem je pohonná jednotka, zabýváme se tak třemi typy mechanických vad. Prvním typem vad je vada rotoru, ty jsou natolik málo časté, že jejich oblast opomeneme. Druhým typem je opotřebení ložisek a tím posledním, třetím typem, je opotřebení soukolí v převodové soustavě.

3.4.1 Ložiska

Konstrukce ložiska, jak je patrné z obrázku **Obr. 15**, **Obr. 16** je tvořena dvěma kroužky, které se vzájemně vůči sobě mohou pohybovat. Mezi těmito kroužky dochází k tření. Pro snížení tření jsou pak u ložisek vloženy rotační prvky, které umožňují vzájemné zrychlení pohybu kroužků vůči sobě. Tvary rotačních prvků jsou voleny dle zatížení, jsou to kuličky, soudečky, válečky nebo jehličky a odvíjejí se od typu mechanického namáhání, tj. radiální působící v ose y , axiální působící v ose x nebo kombinace obou zatížení. Některé konstrukce jsou v tomto místě doplněny o tzv. kostru, to je patrné z obrázku **Obr. 16**. Její nevýhodou je však nižší odolnost proti mechanickému namáhání. Vlivem vysoké

zátěže může u tohoto typu občas docházet k porušení kostry a k následnému vzniku odlomků kostry, které se pak dostávají do vnitřní části ložiska a způsobují porušení rotačních funkčních částí ložiska. Důvod použití kostry je především snížení počtu rotačních prvků a následnému zlevnění výroby ložiska.



Obr. 15 Konstrukční řešení válečkového ložiska [12]



Obr. 16 Konstrukční řešení kuličkového ložiska [12]

Mezi jednotlivé typy opotřebení ložisek patří adhezivní opotřebení. To se objevuje v případech nedomazání ložiska. Abrazivní opotřebení se pak objevuje v případě při přemazání ložiska vlivem zhutnění tuhého maziva v ložisku **Obr. 17**, nebo v případech, kdy dojde ke vzniku odlomků kostry ložiska **Obr. 18.**, které pak následně kolují mezi rotačními prvky a způsobují hluboké rýhy.

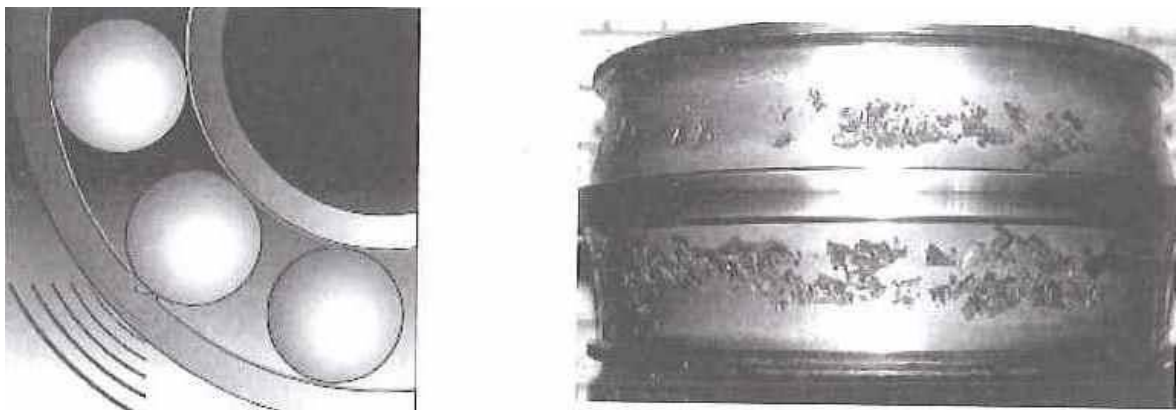


Obr. 17 *Abrazivní opotřebení ložiska [10]*

V některých případech se u poškozených ložisek můžeme setkat i s kavitačním opotřebením **Obr. 19**. Tento projev se vyskytuje v podobě odtržených funkčních částí ploch ložisek, ke kterému dochází vlivem odtržení maziva od funkčních ploch při sníženém lokálním tlaku. V lokální oblasti o velikosti několika mikro milimetrů dosáhne kapalina vlivem vysokého tlaku bodu varu. Následně se vytvoří dutinky, které jsou vyplněny parami. Při zániku par dochází k prudkému nárazu kapalin a následnému odtržení části povrchu.



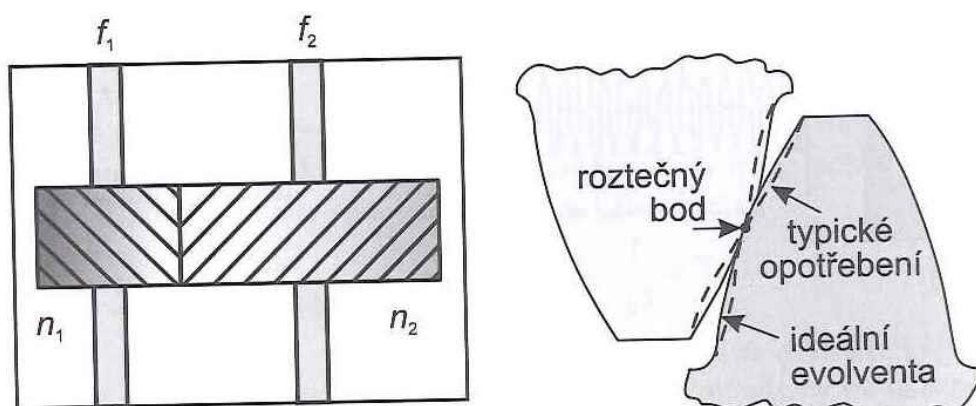
Obr. 18 *Rozpadlá klec válečkového ložiska*



Obr. 19 Kavitační opotřebení kuličkového ložiska [10]

3.4.2 Převodové soukolí

Protože moderní výtahy jsou řízeny frekvenčním měničem, namáhání převodového soukolí není rázového charakteru. I přesto však vlivem vysokého zatížení dochází k velkému opotřebení. Kontaktní tlaky jsou rozkládány mezi vztyčnými plochami tak, jak to dovoluje tvar zubů. Jejichž kontakty jsou znázorněny na **Obr. 20**. Pro zvýšení přenosu kontaktních sil zvýšením vztyčné kontaktní plochy zubů se používá celá řada specifických tvarů zubů. Jedním z nich je patentovaný tvar zakřivení zubů Cavex. Ten dovoluje vztyk zubů vlivem jejich tvaru ve větší ploše. Přenos vyšší síly je však na úkor snížené životnosti. U tohoto typu se objevuje kavitace nejčastěji, je to dáno právě velkou plochou kontaktních ploch.

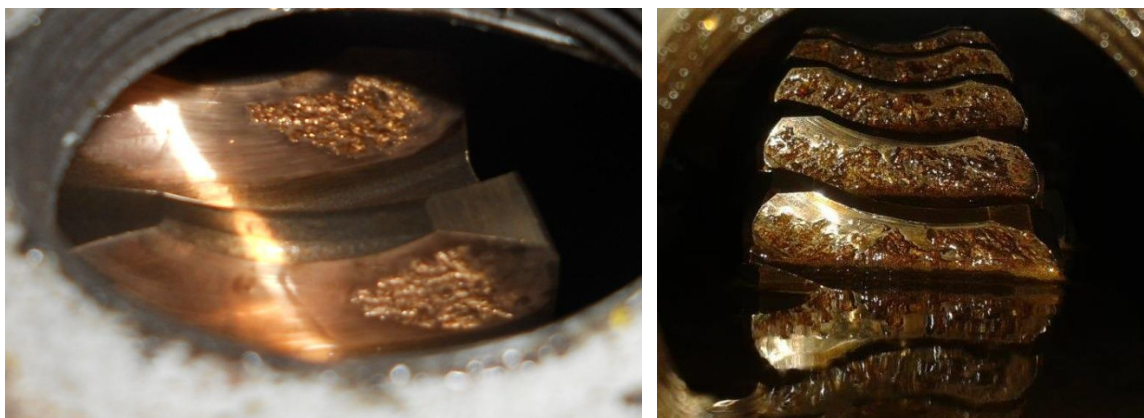


Obr. 20 Kontaktní plochy záběrů zubů



Obr. 21 Adhezivní opotřebení, postupný vývoj

Prvním typem projevu opotřebení je adhezivní opotřebení, jeho postupná progresse je zachycená na obrázku **Obr. 21**. Dalším typem opotřebení je kavitační vytrhování materiálů z kontaktních ploch. To je v převodovém soukolí způsobené odtrhování proudu maziva, které pak následně odtrhem vyvolává uvolnění tepla na úrovni varu, výsledkem je pak následné odtržení i části materiálu. Jeho dopad je zachycen na obrázku **Obr. 22**.



Obr. 22 Počáteční a pokročilá kavitace

4 Provedení provozních měření

Při porovnání možností přístupu k jednotlivým částem technologie výtahu bylo uvažováno především bezpečné provedení měření a zároveň i získání potřebné informace o vývoji stavu opotřebení pohonné jednotky. Protože výchozím bodem byla jen zkušenost s neznalostí dodavatelů s uvedeným problémem, bylo nutné se poohlédnout po zkušenostech do jiné oblasti. Víme tedy, že je nutné zkoumat stav pohonu. Jde tedy o zkoumání stavu převodů a ložisek. Není nijak účelné provádět zkoumání odděleně. Naopak, selže-li jedna část, selže celá sestava. Tento stav by se dal přirovnat k sériovému

zapojení nespolehlivé soustavy. Čím více komponentů v zapojení, tím vyšší pravděpodobnost selhání. Pro sestavu tak postačí jeden typ měření. Z hlediska uživatele pohlížíme na soustavu jako na dvoustavový prvek, buď je v provozu, nebo nikoliv. Z hlediska jakosti a spolehlivosti jde o více stavový prvek. Jeho stavy se budou měnit v průběhu jeho životnosti. Mezním stavem životnosti soustavy bude selhání nejslabšího článku sestavy. Jeho projev bude projevem změny zvýšených vibrací. Vibrace má jen dvě podoby, chvění pružných těles a kmitání tuhých těles. Náš projev bude projevem kmitání, ale měřicí přístroj zaznamená i chvění.

Nevíme tedy v jakém stavu, fázi života, soustava je. Víme jen, že celá sestava pohonu produkuje vibraci, ta se pak za dobu vývoje opotřebení různě mění. Není možné ani opomenout, že i při měření může dojít k ovlivnění výsledku změnou stavu stavby nebo samotné nezkoumané části technologie viz kapitola **2.1** a **2.2**. Při měření je tedy potřeba dbát, aby podmínky měření byly vždy stejné, nebo minimálně srovnatelné. Protože měření bude probíhat i za různých klimatických podmínek, je potřeba provádět zkoumání včetně měření i klimatických podmínek v měřeném prostředí.

Pro měření bylo využito prostředí vzniklého problému. Víme, že pražské metro patří k nejvytíženější oblasti dopravních strojů. Důkazem toho je i zmíněná událost již v kapitole **1**. Vysoké zatížení převodové soustavy a pohonu výtahu bylo i místem identifikovaného problému, kde zátěž využití výtahu byla téměř osm hodin samotných jízd denně. Prováděním měření není vhodné jakkoliv zasahovat do provozu, není možné uzavřít i třeba jen jedno zařízení na delší dobu. Je tedy nutné volit metodu bezdemontážního měření, tedy instalace měřicího mechanismu přímo na zařízení a měřit stav opotřebení za provozu. Běžným provozem by však docházelo k rozdílným podmínkám při měření. Zásadním rozdílem by byla váha kabiny výtahu. Při provozu s cestující veřejností by docházelo k plnění funkce přepravy různých skupin cestujících o různých váhách, zároveň by neukázněnost především mladších cestujících mohla vlivem poskakování v kabině zanechat chybné kmitání vlivem dalšího budiče vibrací. Z tohoto důvodu bylo vyloučeno statické měření a měření za běžného provozu. Metodika tak byla stanovena na měření účelově aplikovaného měřidla s využitím při jízdě prázdné kabiny výtahu a při stejném směru rozjezdu kabiny s opakováním několika jízd v obou směrech. Všechna měření probíhala v nočních hodinách v době výluky provozu metra. Tímto stanovením došlo ke srovnání výchozích bodů měření. Pro ověření správnosti úvahy a metodiky byla zvolena

širší skupina měřících subjektů. Seznam vybrané množiny k analyzování a k vzájemnému porovnání ukazuje **Tabulka 1**.

Tabulka 1 Seznam analyzovaných výtahů

Evidenční číslo výtahu	Stanice instalace výtahu	Typ výtahu	Výrobce	Nosnost výtahu [kg]	Rychlost výtahu [m/s]	Počet stanic / počet zastávek	Zdvih výtahu [m]	Umístění pohonu *
613-1-027	Kobylisy	A10-630	Thyssen	630	1	2/2	31,08	nad
613-1-063	Kobylisy	A10-1000	Thyssen	1000	1	3/3	6,50	pod
613-1-184	Kobylisy	A10-1000	Thyssen	1000	0,63	4/4	7,71	nad
613-1-217	Ládví	A10-1000	Thyssen	1000	1	3/3	8,49	nad
613-1-403	Chodov	AVOKA	VVS	630	1	2/2	4,45	nad
613-1-405	Florenc	AVOKA	VVS	630	1	2/2	36,90	nad
613-1-415	Střížkov	SPS	Thyssen	1600	1	3/3	6,65	pod
613-1-420	Prosek	SPS	Thyssen	1600	1	3/3	10,23	pod
613-1-421	Prosek	SPS	Thyssen	1600	1	3/3	9,78	pod
613-1-422	Prosek	NPS	Thyssen	630	1	2/2	4,44	pod
613-1-423	Prosek	NPS	Thyssen	630	1	2/2	5,02	pod
613-1-424	Prosek	NPS	Thyssen	630	1	2/2	4,86	pod
613-1-435	Letňany	NPS	Thyssen	1025	1	3/3	7,70	pod
613-1-438	Letňany	NPS	Thyssen	1025	1	2/2	5,08	pod
613-1-439	Letňany	NPS	Thyssen	1025	1	2/2	5,08	pod
613-1-440	Letňany	SPS	Thyssen	1600	1	2/3	5,25	pod
613-1-441	Letňany	NPS	Thyssen	1025	1	3/3	7,70	pod
613-1-442	Letňany	NPS	Thyssen	1025	1	2/3	5,09	pod

* nad - pohon v horní části šachty, pod - pohon v prohlubni šachty

Uvedený seznam výtahů byl účelově sestaven z výtahů s aplikací převodových pohonů. U převodových pohonů bylo očekáváno lepší změření vývoje progresu opotřebení z hlediska použitého soukolí v převodové skříně. Dalším důvodem byla samotná problematika případu v kapitole 1. Velikost množiny byla stanovena z důvodu ověření správnosti zvolené metodiky. Dále byl dle výrobce pohonů a provedeního měření doby jízdy pohonů, stanoven odhad životnosti pohonných jednotek. Toto je znázorněné v **Tabulka 2**.

Tabulka 2 Životnost pohonů s ohledem na dobu provozu

Evidenční číslo výtahu	Datum prvního uvedení do provozu	Předpokládaná životnost pohonu [rok]	Předpoklad výměny pohonu	Roční proběh pohonu [h]	Denní proběh motoru [h]
613-1-027	18.6.2004 16.5.2013	10	2014 2023	2899,0	7,94
613-1-063	15.6.2004	595	2599	50,5	0,14
613-1-184	17.12.2004	57	2061	529,3	1,45
613-1-217	15.6.2004	25	2029	1193,7	3,27
613-1-403	2.6.2005	48	2053	630,9	1,73
613-1-405	12.12.2006	12	2018	2530,2	6,93
613-1-415	30.4.2008	77	2085	390,8	1,07
613-1-420	29.4.2008	23	2031	1303,9	3,57
613-1-421	29.4.2008	39	2047	768,5	2,11
613-1-422	29.4.2008	76	2084	392,4	1,08
613-1-423	30.4.2008	528	2536	56,8	0,16
613-1-424	30.4.2008	71	2079	422,8	1,16
613-1-435	30.4.2008	950	2958	31,6	0,09
613-1-438	30.4.2008	191	2199	156,9	0,43
613-1-439	30.4.2008	67	2075	450,8	1,24
613-1-440	30.4.2008	324	2332	92,7	0,25
613-1-441	30.4.2008	96	2104	311,7	0,85
613-1-442	30.4.2008	157	2165	191,4	0,52

Protože každý výtah má rozdílné jízdní dráhy (dopravní zdvih) a především rozdílné počty zastávek, byl z naměřených hodnot doby jízdy vypočítán přehled počtů zastavení. Přehled byl sestaven z naměřených hodnot doby jízdy s dopočtem okružní jízdy na tzv. Rund time **Tabulka 3**. Přepočet jízd za jednu hodinu byl vypočítán z doby otevření stanice a hypotetických počtu zastavení nejvzdálenějších stanic. Jedná se tak o přibližnou minimální hodnotu s odchylkou do 10 %. Odchylka byla stanovena na základě místního průzkumu využití výtahů a týká se jen výtahů ev. č. 613-1-217, 415, 420, 421 a 441. Tyto výtahy mají více jak dvě stanice pro využití cestující veřejnosti. U některých případů lze předpokládat, že by byla četnost využití výtahu vyšší, ale z praktického hlediska konstrukce technologie nebylo možné tohoto požadavku dosáhnout. Důvodem je dlouhá doba nástupu a výstupu cestujících. K takovým případům patří výtah ev. č. 613-1-027 ve stanici Kobylisy. Vyššího výkonu přepravní kapacity a četnosti jízd by bylo možné dosáhnout zvýšením rychlosti výtahu a doplněním předotevírání dveří. Tímto postupem by

bylo možné dosáhnout nejen kratší čekací doby na příjezd výtahu, ale také zvýšení přepravní kapacity. Poptávka výtahu by tak byla lépe naplněna a netvořily by se tak často fronty v zastávkách výtahu tak, jak tomu je nyní. Lze ale také předpokládat, že by k efektu snížení front před nástupem do výtahu nedošlo a to z důvodu psychologické pohody čekání na dojezd výtahu. Zvýšilo by se tak jen vytížení výtahu a to z důvodu vyšší zájmové skupiny cestujících. Některé výtahy jsou využívány spíše z důvodu zkrácení cesty cestujících.

Tabulka 3 Počet jízd jednotlivých výtahů

Evidenční číslo výtahu	Rychlost výtahu [m/s]	Zdvih výtahu [m]	Roční proběh pohonu [h]	Okružní jízda (nahoru + dolů) [s]	Okružní jízda [h]	Počet jízd za rok	Počet jízd za den	Počet jízd za hodinu
613-1-027	1	31,08	2899,0	102,0	0,0283	204 634	561	28
613-1-063	1	6,50	50,5	24,3	0,0068	14 950	41	2
613-1-184	0,63	7,71	529,3	20,4	0,0057	186 794	512	26
613-1-217	1	8,49	1193,7	31,0	0,0086	277 243	760	38
613-1-403	1	4,45	630,9	28,0	0,0078	162 239	444	22
613-1-405	1	36,90	2530,2	96,0	0,0267	189 764	520	26
613-1-415	1	6,65	390,8	27,7	0,0077	101 571	278	14
613-1-420	1	10,23	1303,9	29,0	0,0081	323 717	887	44
613-1-421	1	9,78	768,5	35,3	0,0098	156 754	429	21
613-1-422	1	4,44	392,4	24,6	0,0068	114 841	315	16
613-1-423	1	5,02	56,8	19,0	0,0053	21 516	59	3
613-1-424	1	4,86	422,8	22,6	0,0063	134 695	369	18
613-1-435	1	7,70	31,6	26,0	0,0072	8 742	24	1
613-1-438	1	5,08	156,9	21,0	0,0058	53 778	147	7
613-1-439	1	5,08	450,8	21,0	0,0058	154 568	423	21
613-1-440	1	5,25	92,7	19,6	0,0054	34 064	93	5
613-1-441	1	7,70	311,7	28,3	0,0079	79 309	217	11
613-1-442	1	5,09	191,4	26,7	0,0074	51 608	141	7

Četnost měření byla stanovena nejprve jednou za jeden měsíc, následně jednou za dva měsíce. Další zpracované měření bylo už realizováno cíleně na identifikovaném problémovém výtahu. Přehled měření a podmínky při měření jsou zpracovány v **Tabulka 4**. Z měření tak vyplynulo, že postup progresu je při vyvíjejícím se opotřebením pomalý a tak není nutné provádět měření během krátké doby. V jednom případě nebylo možné měření

z důvodu prováděné opravy zařízení provést. První měření bylo provedeno v srpnu 2014, poslední, které bylo zahrnuto do výzkumu práce v únoru 2015.

Tabulka 4 Přehled prostředí během prováděného měření

Datum měření		30.11.14 OUT t 3 °C, φ 93 %		30.9.14 OUT t 11 °C, φ 90 %		24.8.14 OUT t 8 °C, φ 74 %	
Prostředí		Podmínky měření		Podmínky měření		Podmínky měření	
Ev.č.Výtahu	Stanice	Teplota [°C]	φ [%]	Teplota [°C]	φ [%]	Teplota [°C]	φ [%]
613-1-027	KB	11,4	52,7	15,8	52,3	14,2	68,0
613-1-063	KB	14,6	43,8	15,0	43,1	13,5	45,2
613-1-184	KB	14,2	52,7	14,5	53,0	13,6	54,1
613-1-217	LA	8,1	65,9	14,0	64,8	12,4	71,0
613-1-403	CH	12,3	46,2	16,0	47,2	13,1	50,2
613-1-405	FR	10,6	52,3	14,2	53,1	13,5	55,2
613-1-415	SZ	7,1	53,3	12,3	52,1	9,0	54,2
613-1-420	PR	9,0	56,6	12,1	54,5	11,7	52,6
613-1-421	PR	9,0	56,7	12,6	55,6	11,5	55,9
613-1-422	PR	8,0	56,5	11,0	56,1	10,8	56,6
613-1-423	PR	8,9	52,0	11,9	51,2	10,9	55,0
613-1-424	PR	10,2	47,2	13,2	46,5	11,3	46,1
613-1-435	LT	11,4	52,7	14,4	51,2	13,8	53,2
613-1-438	LT	8,6	63,5	11,6	63,5	10,8	68,1
613-1-439	LT	7,1	67,3	10,1	66,4	9,6	65,0
613-1-440	LT	11,7	49,9	14,7	48,5	12,0	51,3
613-1-441	LT	9,2	64,4	12,2	64,0	11,1	65,2
613-1-442	LT	7,6	60,5	10,6	61,2	9,6	63,1
Opakované měření							
613-1-217	LA	10,2	36,5	10,9	37,7		

Při měření byla měřena teplota a relativní vlhkost prostředí instalovaných pohonů. Opotřebení pohonů bylo měřeno měřením vibrací. K měření vibrací byl použit měřicí přístroj pro měření akcelerací. Čidlo, které bylo k tomuto účelu aplikováno bylo složeno ze tří samostatných čidel. Celkově bylo provedeno 168 měření, z toho 56 měření bylo dále vyhodnocováno v grafickém zpracování. Tato část měření je z důvodu velkého rozsahu vložena do přílohové části I.

4.1 Měřicí přístroj

Pro měření vibrací byl použit multifunkční měřicí přístroj Labquest 2 od společnosti Vernier. Přístroj byl vyroben a certifikován v americkém Oregonu.



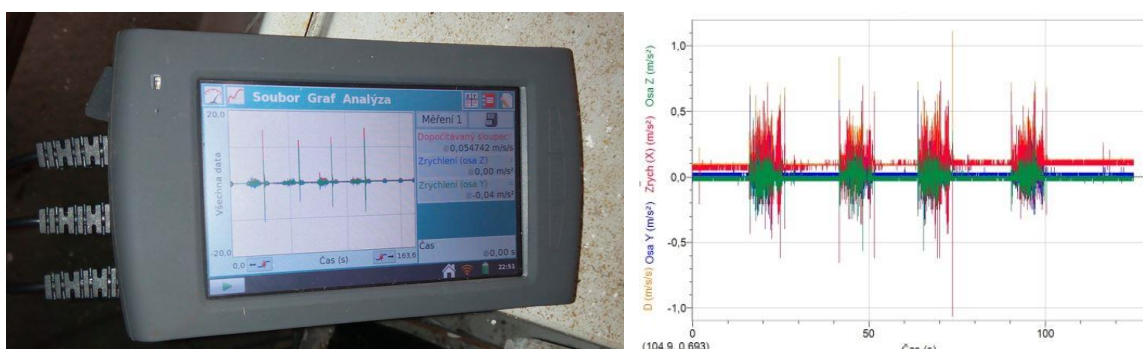
Obr. 23 Měřicí přístroj datalogger Labquest 2

Původní účel přístroje bylo použití pro školní účely, dnes je však využíván i v průmyslové oblasti k ověřování celé řady měřených parametrů jako je napětí, proud, odpor, magnetická indukce, náboj, síla, teplota, vlhkost, zrychlení atd. Na **Obr. 23** je vyobrazen přístroj při zadávání parametrů pomocí dotykového pera. Parametry měřáku odpovídají malému osobnímu počítači. Lze ho tak pomocí wi-fi sítě připojit k internetové síti, přes kterou lze také vzdáleně přístroj ovládat. Má barevný displej s úhlopříčkou 13,1 cm a procesor o frekvenci 800 MHz. Jeho tělo má na bocích konektory pro připojení jednotlivých čidel. Protože je značně multifunkční, konektory umožňují připojení různých čidel, která dokáže procesor rozeznat. Protože při měření vibrací metodou měření akcelerací bylo měřeno i prostředí instalace pohonů, mohl být tak přístroj využit i pro měření ostatních veličin. Těmi byla teplota a vlhkost. Pro měření akcelerací byl použit trojnásobný akcelerometr **Obr. 24** s měřením ve všech osách.



Obr. 24 3D Univerzální akcelerometr umožňující současné měření všech tří složek zrychlení [13].

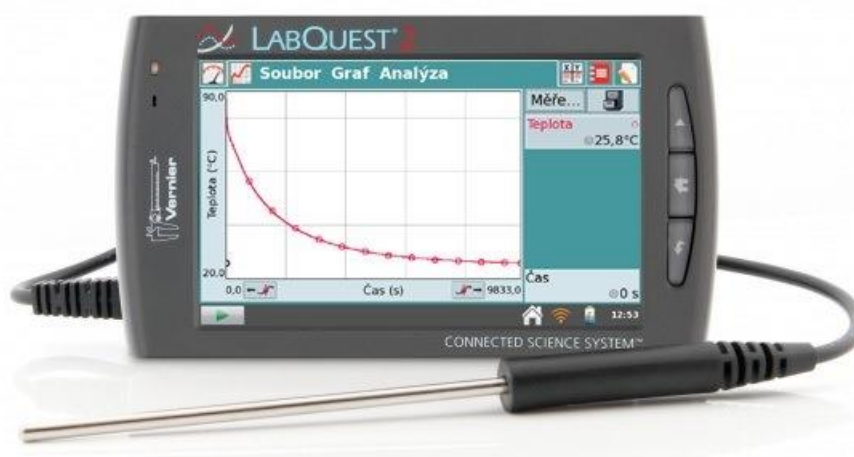
Rozsah čidla je $\pm 49 \text{ m/s}^2$, citlivost měření je $\pm 0,16 \text{ m/s}^2$, přesnost měření je $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$. Čidlo je fakticky složeno ze tří navzájem kolmo umístěných akcelerometrů typu LGA-BTA se stejnými technickými specifikacemi, z nichž každý měří zrychlení ve směru jedné složky [13]. Princip měření je založen na měření změny kapacitance (impedance) kondenzátorů jednotlivých čidel akcelerometrů. Jejich konstrukce je složena ze tří samostatných čidel, z nichž každé čidlo působí v jednom směru ortogonální souřadnice. Každé jednotlivé čidlo je tvořeno ze silikonových destiček, které tvoří plochy kondenzátoru. Při změnách pohybu dochází vlivem akcelerace k ohybu destiček čidel, které jsou napojeny na střídavé napětí. Ohýbáním při akceleracích dochází ke změně impedance, která je vyhodnocována jako zrychlení $[\text{m/s}^2]$ v závislosti na času $[\text{s}]$ v odpovídající hodnotě. Průběh vibrací je pak následně vyobrazen v grafické a tabulkové podobě na displeji přístroje **Obr. 25**.



Obr. 25 Zobrazený průběh měření akcelerací v osách x, y, z a dopočítávané zrychlení D

Pro další měřenou veličinu teploty bylo použito nerezové měřící čidlo TMP-BTA.

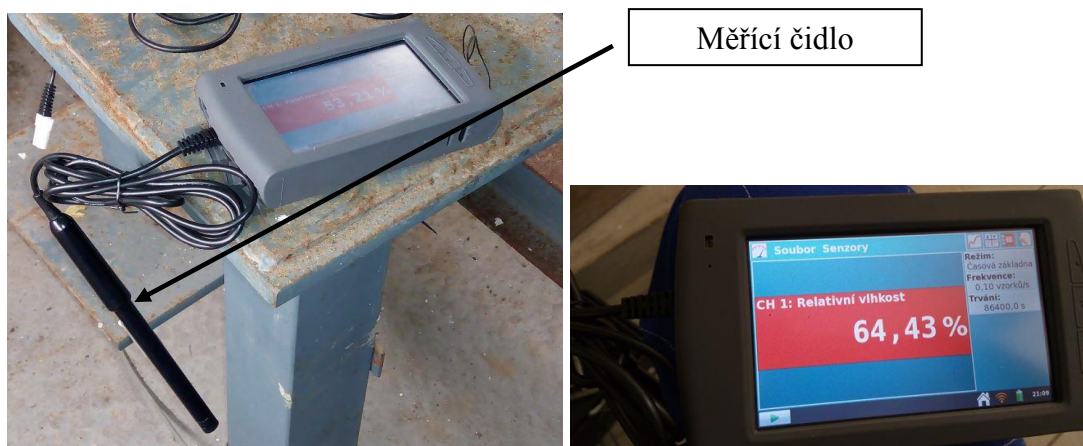
Obr. 26.



Obr. 26 Nerezové teplotní čidlo

Nerezový teploměr **Obr. 26** je odolný i v náročném terénu. Disponuje rozsahem měření od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Přesnost měření je $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pro měření relativní vlhkosti bylo použito měřící čidlo RH-BTA **Obr. 27**.



Obr. 27 Měření relativní vlhkosti

Provozní teplota čidla je od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozsah měření je od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Citlivost měření je $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ z aktuální relativní vlhkosti. Přesnost měření je $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ z aktuální relativní vlhkosti. Pomocí pečlivé kalibrace je možné dosáhnout přesnosti $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Senzor využívá k určování vlhkosti polymer, jehož elektrická kapacita se mění v závislosti na

vlhkosti vzduchu. Z proměnné kapacity je pak pomocí integrovaného obvodu určována aktuální relativní vlhkost [13].

4.2 Postup provádění měření

Měření vibrací je nutné provádět metodicky stejně. Systém, který tak stanoví jednotná pravidla, umožní porovnání naměřených dat. Lze tak s jistou odchylkou různorodosti konstrukce analyzovat naměřená data. Výsledky lze využít pro definování doby provedení nutné opravy před dosažením kritické úrovně.

Stanovený postup měření:

- Kabina výtahu musí být vždy prázdná, výchozí směr jízdy výtahu musí být vždy stejný.
- Prostředí měření je nutné sledovat i s ohledem na klimatické podmínky (teplota a vlhkost při měření).
- Stav nosných prostředků musí být stejný (nelze považovat za stejné měření, když dojde k opotřebení lan, lana musí být namazaná).
- Analýza dat musí probíhat u porovnatelných vzorků dat.
- Změnou nastavení akcelerace a decelerace pohonu dojde ke změně rázů a následných vibrací.
- Jakákoliv povolená část konstrukce má za následek vznik zdroje vibrace, ta se pak následně nese celou soustavou konstrukce a může zkreslovat výsledek měření.
- Před měřením je nutné provést vizuální kontrolu sestavy.

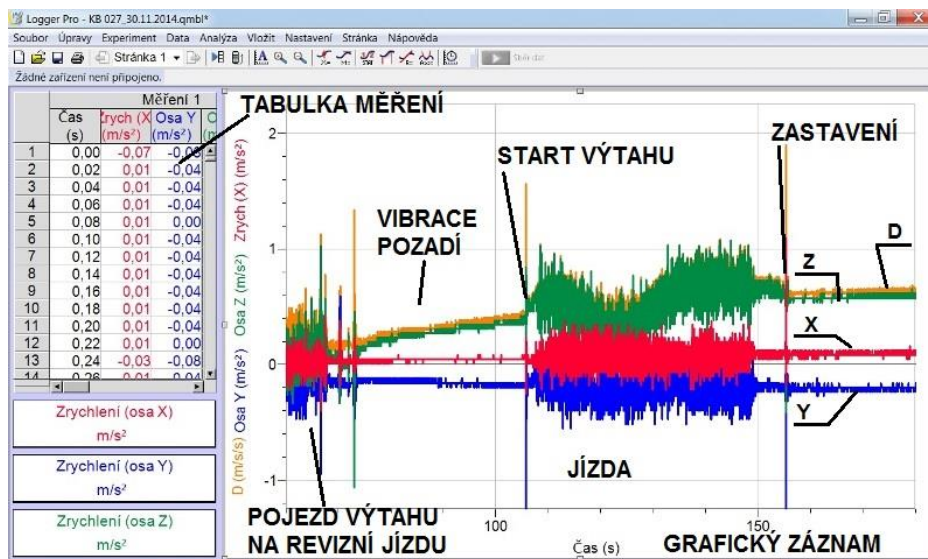
Pokud chceme docílit při měření přesnějších dat, je nutné provést kalibraci měřícího čidla. Pro nastavení stejných výchozích dat je vhodné provést vynulování polohy natočení jednotlivých čidel viz **Obr. 23**. Ta se provede pro každé čidlo zvlášť, tedy pro osu x , y a z . Při pohybu čidla tak vidíme, jak se mění jednotlivé hodnoty. Pro správná a porovnatelná data tak kalibraci provádíme až po uchycení čidla na měřící bod. Aby bylo možné data porovnat, je nutné zachovat ještě jeden parametr, tím je stejná pozice a způsob uchycení čidla na měřeném pohonu. Obecně platí, že čím je bod uložení čidla vzdálenější od osy ukotvení pohonu, tím vyšší budou výchylky vibrací. Čím měkčí nebo volnější bude ukotvení měřícího čidla, tím více dojde k vychylování čidla vlivem pružného uložení

Obr. 28. Dá se tedy s jistotou tvrdit, že pokud dojde k různému ukotvení měřícího čidla i třeba na jednom stejném měřícím bodě, může dojít k zanesení chyby měření vlivem různých výchozích parametrů. Pro tyto měření byl zvolen jednotný způsob ukotvení. Tím bylo přilepení na oboustrannou lepicí pásku. Protože v některých případech došlo vlivem znečištění povrchu k odlepení čidla v průběhu měření, bylo měřící místo před přilepením měřícího čidla očištěno odmaštěním. Měření tak bylo nutné opakovat. Pro dlouhodobé měření je však výhodnější měřící čidlo přikotvit pomocí šroubového spoje. To v průběhu měření již nebylo využito z důvodu možného ovlivnění naměřených dat.



Obr. 28 Upevněné měřící čidlo na pohonu

Všechny součásti pohonu včetně krytů musí být pevně ukotvené, nesmí docházet ke vzniku vibrací vlivem uvolněných částí pohonu. Tyto parametry tak vždy kontrolujeme a provádíme bezrozdílně vždy před zahájením měření. Protože měříme ve 3D prostoru, měříme každou osu pohybu zvlášť a každá osa je ovlivněná jiným úhlem naklonění čidla, které by bylo velmi složité vždy provádět stejně. Využijeme možnost přepočtu všech os do jedné křivky. Přepočtem tak zohledníme chvění v každé ose. Na **Obr. 29** je vyobrazen výsledek měření včetně dopočítání sledované hodnoty D.



Obr. 29 Tabulkový a grafický záznam všech tří os x , y , z a jejich dopočítávaného D

Vytvoříme tak novou dopočítávanou veličinu, kterou si pracovně označíme D a nazveme jí celkové zrychlení. Jde o vektorový součet tří kolmých vektorů. Využijeme tak aplikaci Pythagorovy věty v trojrozměrném prostoru **Rovnice 1**. Nastavíme frekvenci měření na 50 Hz délku měření 1000 s a spustíme. Opustíme místo měření a uvedeme výtah do provozu. Následně řídíme provoz výtahu dle stanoveného postupu. Výtah tak odesíláme do krajních stanic.

$$D = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \quad [m/s/s]$$

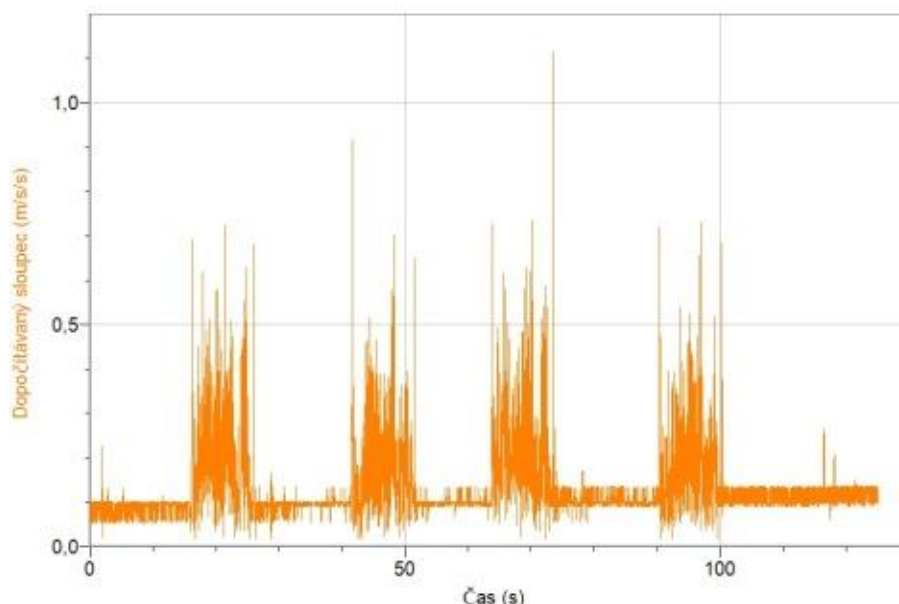
Rovnice 1 Aplikace Pythagorovy věty pro převod trojrozměrného měření na jeden parametr

Po ukončení stanovených jízd, které jsou pro naše měření dvě jízdy každým směrem, zastavíme výtah a zastavíme i měření vibrací. Zkontrolujeme data měření, uložíme je do paměti zařízení a měřící místo opustíme. Výtah uvedeme zpět do běžného chodu pro cestující. Každý krok a práce s výtahem musí probíhat za zachování základních bezpečnostních opatření. Tím je naprostá kontrola nad zařízením a při každém vstupu do šachty s výtahem také práce se stop tlačítkem či s revizní jízdou pro ovládání výtahu v servisním modu. Dle normy pro Provoz a servis výtahu [3] nesmí do šachty výtahu vstupovat neoprávněná osoba. Pro tento krok bylo nutné zajistit příslušná školení a povolení pro umožnění provádění měření.

4.3 Vyhodnocení měření

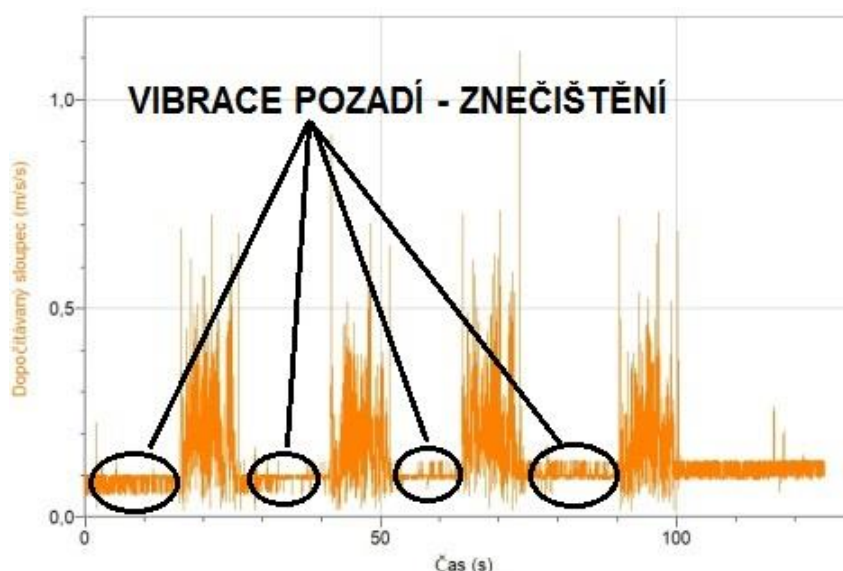
Naměřená data máme dvojího charakteru, písemná – zapsané zápisy naměřené teploty a vlhkosti prostředí a elektronická – naměřená data všech akcelerací. Písemná data zapíšeme do tabulky, viz úvod kapitoly 4 v **Tabulka 4**. Vyhodnocení elektronických dat je mnohem obtížnější. V první řadě, protože není žádná historie měření nebo měření tzv. výchozího stavu po montáži výtahu, bude prvotním srovnávacím bodem vždy první výchozí měření. Musíme však dbát na fakt, že ne vždy bude stav opotřebení jednotlivých částí výtahu stejný. Výchozí bod tak může být do jisté míry i v průběhu měření tzv. zkreslen zlepšenou hodnotu opakovaného měření (akcelerace budou nižší). Dále může být opakované měření tzv. minusové z důvodu provedené opravy části výtahu, která byla budičem vibrací. V druhé řadě je možné do jisté míry porovnávat naměřená data i vůči sobě u podobných konstrukcí různých výtahů. Toto porovnání a jeho reálná přesnost bude prokázána až řadou opakovaných měření a to i především opakovaných měření po provedení i třeba výměny či opravy pohonné jednotky.

Protože porovnávání či vyhodnocování akcelerace pouze jednoho vektoru je vlivem možného natočení čidla neefektivní, budeme porovnávat dopočítávaný vektor dle **Rovnice 1**. Jeho projev je projevem akcelerace v podobě kmitající křivky **Obr. 30**.

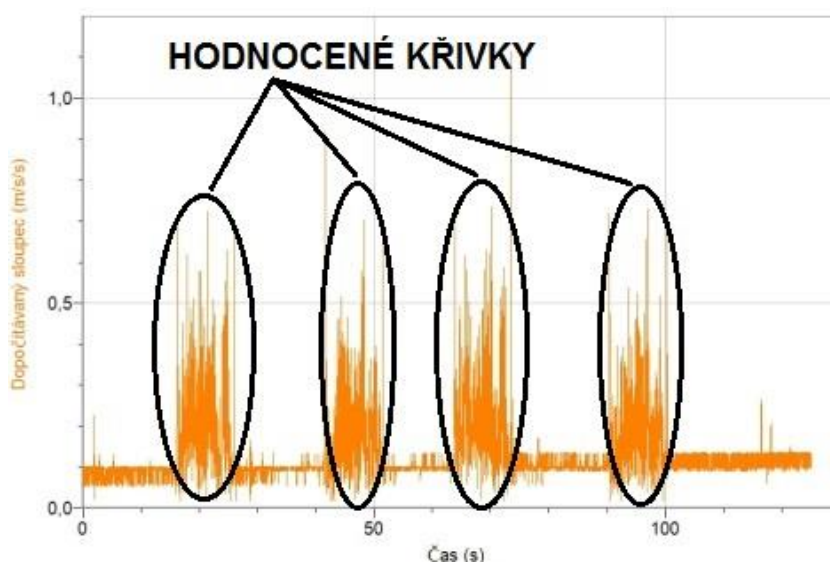


Obr. 30 Záznam akcelerace dopočítávaného sloupce D v závislosti na času

Pro vysvětlení provedeme rozklad naměřených hodnot dopočítávané křivky. Jestliže v kapitole 2 je uváděna různá tuhost staveb a konstrukcí výtahů pak při měření je zaznamenán i tento projev **Obr. 31**. Hodnotíme tedy jen místa zvýrazněná na **Obr. 32**.



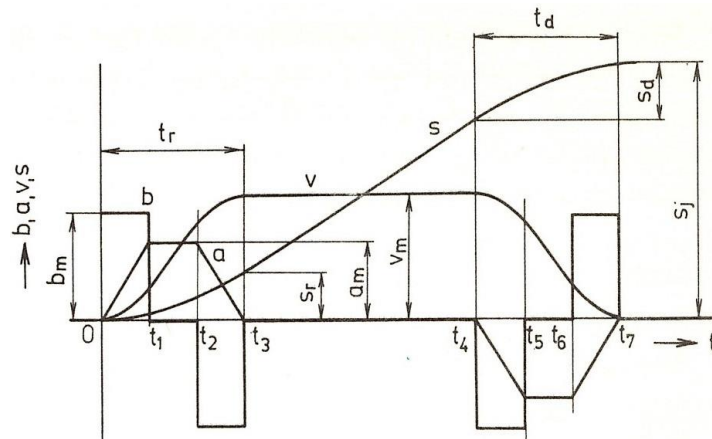
Obr. 31 Znečištěné měření pozadím vibrace konstrukcí



Obr. 32 Hodnocené křivky dopočítávaného sloupce D

Každou křivku pak lze rozdělit na další části. Její projev je ovlivněn nastavením akcelerace a decelerace jízdy výtahu **Obr. 33** a funkčností a síly brzdy na pohonné jednotce. Změnou rozjezdové rychlosti v a zkrácení doby t_r nebo dojezdové rychlosti v a zkrácení doby t_d dojde ke zvýšení počátečních a konečných vibrací při jízdě vlivem

zvýšeného tíhového zrychlení g . Za podmínky zachování těchto parametrů můžeme tento jev opomenout a hodnotit ho jako celek. Výsledkem tak bude jeden parametr množiny výpočtů, který je možné porovnávat se stejnou množinou parametrů.



Obr. 33 Závislost rychlosti výtahu v na jízdní dráze s [14]

5 Výpočty a návrh nového způsobu diagnostiky

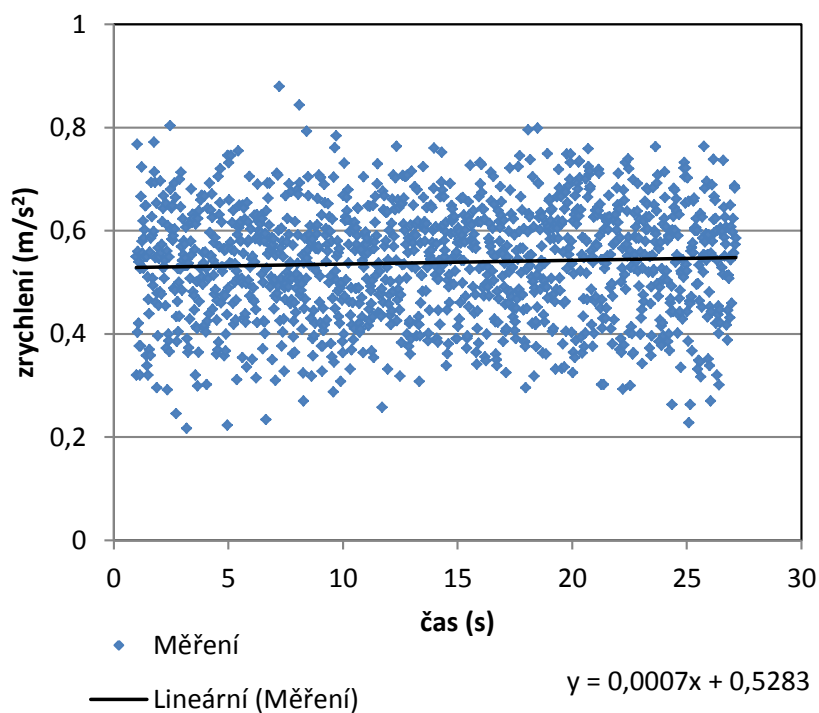
Z grafické podoby by bylo možné okometricky posuzovat úroveň opotřebení. Při pohledu na **Obr. 29** je však evidentní shluk křivek, které jsou méně přehledné. Vhodnější porovnávání by bylo u dopočítávané křivky D **Obr. 30**. Protože v tomto experimentu počítáme s vyšší přesností, je na místě této přesnosti využít. Využijeme tak tabulkových dat a přeneseme je do programu Microsoft Excel 2010. S tabulkovým procesorem se bude lépe pracovat a budeme tak moc využít celé řady nabízených nástrojů. Pro přesné zjišťování příčiny závady by bylo možné převést zrychlení na frekvenční průběh, z něho by bylo možné zjistit konkrétní místo vzniku příčiny vibrací. Mohlo by tak dojít k zacílené diagnostice, při které by byla přesně identifikovaná příčina závady v podobě vady poruchy vinutí, magnetického obvodu, vzduchové mezery v motoru, ložisek v soustavě, nevyvážené osy rotace rotujících os nebo i opotřebení zubů v převodové soustavě. Tato práce je zaměřena na diagnostiku strojů se složitou kinematikou. Pro upřesnění stroj s jednoduchou kinematikou je stroj bez použité převodové skříně, kde nedochází ke změně otáček v sestavě. Protože výpadkem jakékoliv části dojde k zastavení výtahu, postačí nám jedno číslo, které bude vypovídající o přibližování se jakékoliv části k dosahování mezního fyzického stavu opotřebení. Každá práce je efektivní, je-li jednoduchá a dosahuje potřebné kvality. Takováto cesta byla zvolená při vyhodnocování měření opotřebení pohonných jednotek u zvoleného okruhu osmnácti výtahů.

Z naměřených hodnot byly využity data z dopočítávaného sloupce D, ty byly přeneseny do tabulky v programu Microsoft Excel 2010. V **Tabulka 5** je v prvním sloupci vložena část hodnocených dat časového měření. V druhém sloupci jsou vloženy naměřené hodnoty dopočítávaného sloupce D vypočítané dle výpočtu **Rovnice 1**, ve třetím sloupci je vypočítaný trend ze vzrůstající lineární křivky vzrůstajících se vibrací. Na grafu **Obr. 34** je bodový graf, ve kterém je vypočítaná lineární tendence vzrůstu posunu měřených vibrací. Lineární vzrůst je zjevný z proložené lineární křivky. Výsledný srovnaný graf je na **Obr. 35** ve kterém je patrný posun o odečtený vzrůst. Její vzrůst je způsobený chybou natočení čidla. Pro hodnocení výsledků je nutné provést srovnání výsledků do úrovně y_0 , pak můžeme pokračovat v práci s daty. Hodnota y_0 je ve výpočtu označena jako Odečtený trend D-T ve třetím sloupci. Čtvrtý sloupec vyjadřuje absolutní hodnotu výsledku.

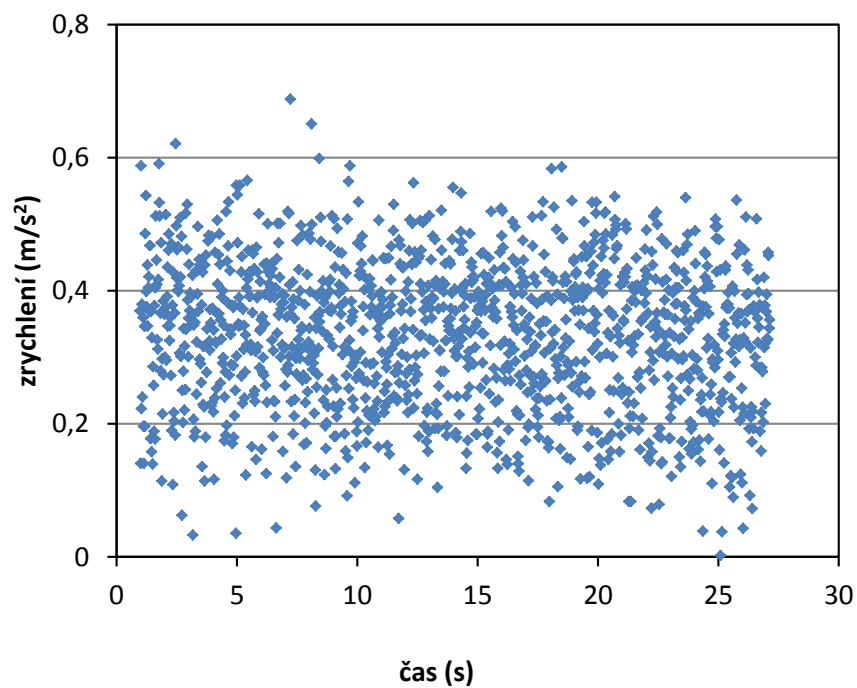
Výsledné číslo je výsledkem průměrné hodnoty ABS. Takto ukončené a vyhodnocené měření porovnáváme s opakovaným měřením a sledujeme jejich parametrický vývoj.

Tabulka 5 Výpočet opotřebení pohonu před opravou

Čas Měření	Dopočítávané D	Odečtený trend	Absolutní hodnoty	Opotřebení
označení	D	D-T	ABS	=
0,98	0,549397807	0,369535807	0,369535807	0,333631715
1,00	0,320295074	0,140395074	0,140395074	
1,02	0,767282714	0,587344714	0,587344714	
1,04	0,402711777	0,222735777	0,222735777	
1,06	0,559460960	0,379446960	0,379446960	
1,08	0,420277214	0,240225214	0,240225214	
1,10	0,539398425	0,359308425	0,359308425	
1,12	0,376497648	0,196369648	0,196369648	
1,14	0,320407336	0,140241336	0,140241336	
1,16	0,526287999	0,346083999	0,346083999	
1,18	0,376297245	0,196055245	0,196055245	
1,20	0,666172592	0,485892592	0,485892592	

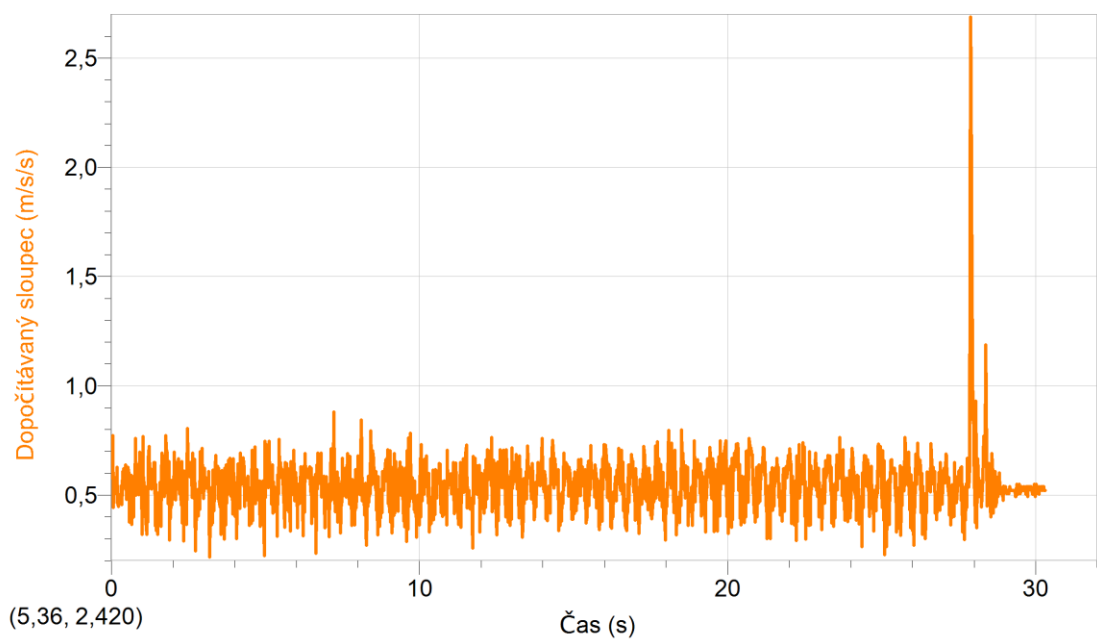


Obr. 34 Výsledný graf před korekcí y_0



Obr. 35 Výsledný graf po provedené korekci y_0

Na **Obr. 34** a **Obr. 35** je výsledek měření samotného pohonu před provedením opravy, jeho původní grafické měření vibrací je na **Obr. 36**.



Obr. 36 Měření pohonu výtahu 613-1-217 před provedením opravy

Na základě výsledků z měření byl pohon zdemontován a převezen k další expertíze do italského závodu v CrasPELLanu **Obr. 37**, kde byl podroben dalšímu měření a následnému provedení repase pohonu. Z měření pohonu u výrobce vyplynulo malé opotřebení soukolí převodové skříně, ale přesto pohon vykazoval zvýšené vibrace. Tímto byl potvrzen výsledek provedeného měření vibrací při měření zavedeného systému s použitím zavedené metodiky. Po provedení rozebrání bylo zjištěné opotřebení ložisek.



Obr. 37 *Italský závod výrobce Alberto Sassi v CrasPELLanu*

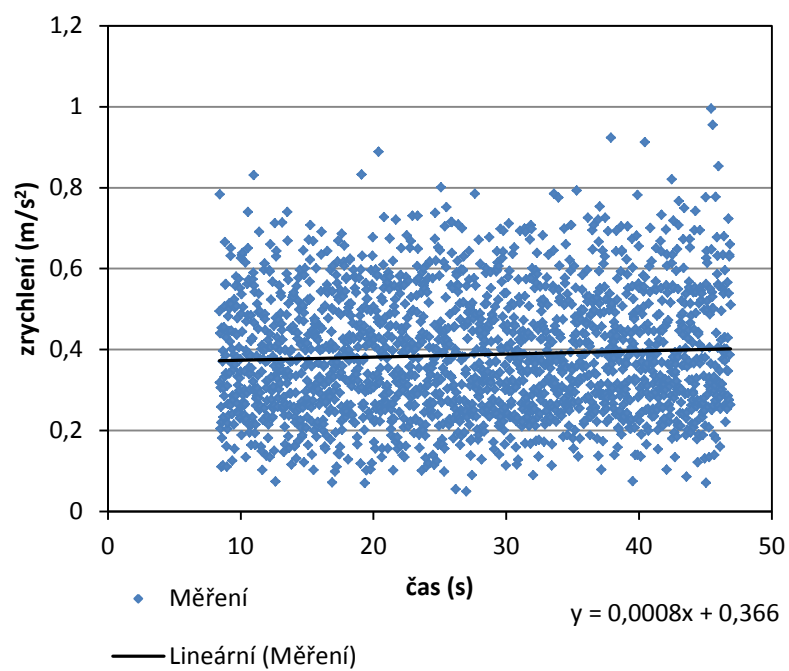
Po provedené opravě pohonu výtahu ev.č. 613-1-217 bylo provedeno následné měření ke zjištění nových výchozích hodnot. Došlo tak k ověření rozdílnosti dat měření před a po provedení opravy a k nastavení nového výchozího bodu.

Tabulka 6 zachycuje nová data měření a výsledné číslo opotřebení. Před provedenou opravou bylo toto číslo $0,334 \text{ m/s}^2$, po provedené opravě došlo ke snížení parametru na hodnotu $0,172 \text{ m/s}^2$.

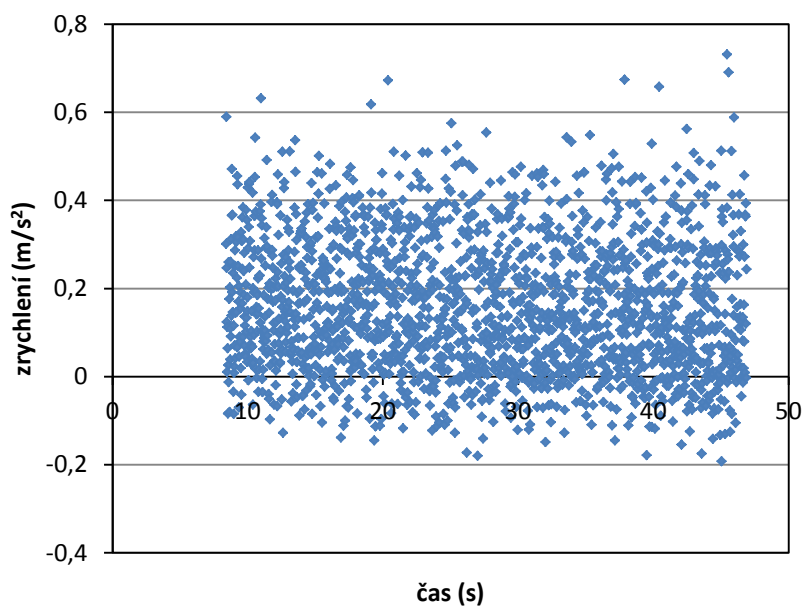
Tabulka 6 Výpočet opotřebení pohonu po provedené opravě

Čas Měření	Dopočítavané D	Odečtený trend	Absolutní hodnoty	Opotřebení
označení	D	D-T	ABS	=
8,40	0,495017401	0,301057401	0,301057401	0,17181385
8,42	0,783330274	0,589332274	0,589332274	
8,44	0,318031063	0,123995063	0,123995063	
8,46	0,440432532	0,246358532	0,246358532	
8,48	0,204380370	0,010268370	0,010268370	
8,50	0,305955234	0,111805234	0,111805234	
8,52	0,258578846	0,064390846	0,064390846	
8,54	0,110301919	-0,083924081	0,083924081	
8,56	0,219560615	0,025296615	0,025296615	
8,58	0,453678773	0,259376773	0,259376773	
8,60	0,181765066	-0,012574934	0,012574934	
8,62	0,221773214	0,027395214	0,027395214	

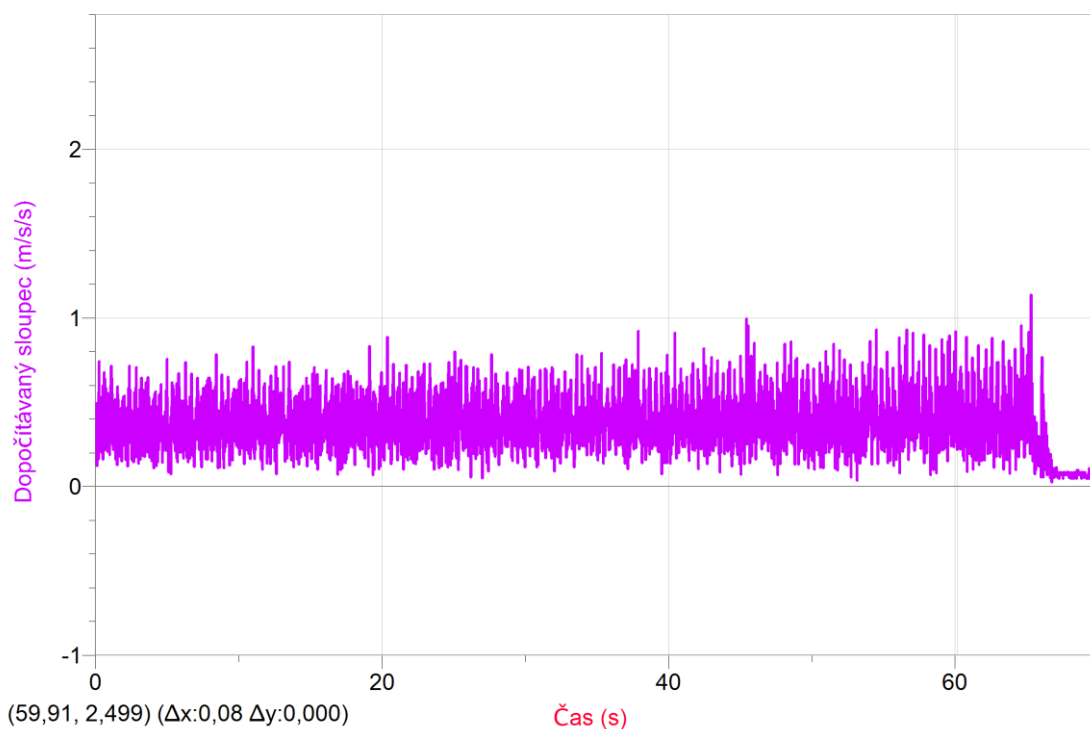
Tabulka zobrazuje v řádcích pouze část měření. Celý postup hodnocení výsledku měření se opakuje dle předchozího popisu. Grafická část výpočtu je na **Obr. 38**, **Obr. 39** je opět po odečtené korekce zvyšující se lineární tendence. Grafické znázornění zdrojových dat z měření je na **Obr. 40**.



Obr. 38 Výsledný graf před korekcí y_0



Obr. 39 Výsledný graf po provedené korekcí y_0



Obr. 40 Měření pohonu výtahu 613-1-217 po provedené opravě

Při porovnávání naměřených vibrací před opravou **Obr. 36** a po provedené opravě **Obr. 40** je zjevná změna stavu soustavy. Po provedené opravě jsou vibrace nižší a více zhuštěné. Matematický výsledek je pak roven rozdílu obou výsledků měření tedy $0,162 \text{ m/s}^2$. Z výsledku měření a poznatku ověřené diagnostiky výrobce vyplývá, že uvedený způsob měření postihuje diagnostiku i dalších částí pohonu. Mimo ověřovací metodiky výrobce, kde dochází ke kontrole pouze zubové vřele, touto metodou dochází k ověření celé soustavy. V tomto případě tak došlo k odhalení opotřebení ložisek. Stejnou metodikou dochází k porovnávání všech dat. Data je možné porovnávat jak v rámci jedné jednotky – jednoho výtahu či jiného posuzovaného stroje, tak konstrukčně porovnatelné konstrukce jiné technologie.

6 Návrh úpravy normy

Předmětem diplomové práce je návrh změny normy. Tímto tedy navrhuji změnu normy ČSN EN 81-1+A1 a její příslušné body.

„Článek 6 Prostory pro strojní zařízení a kladky

Bodu 6.1 Všeobecně

Výtahové stroje a kladky musí být umístěny v prostoru určených pro strojní zařízení a kladky. Tyto prostory a k nim příslušející pracovní prostory musí být přístupné. Musí být provedena opatření dovolující přístup k těmto prostorům pouze oprávněným osobám (pro údržbu, kontrolu, vyprošťování). Prostory a k nim příslušející pracovní prostory musí být chráněny proti vlivu okolí, které se musí vzít v úvahu a musí být zajištěny prostory pro údržbu/kontrolu a pro činnost s nouzovým pohonem, viz 0.2.2, 0.2.5 a 0.3.“

Konkrétně v tomto případě je v odkazovaném bodu 0.3.3 uvedena následující podmínka. *„Komponenty jsou zvoleny a zabudovány tak, aby předvídané vlivy prostředí a zvláštní podmínky provozu neovlivňovaly bezpečný provoz výtahu.“* Zde bych si dovilil uvést podmínku nutného splnění bezpečného provozu a splnění podmínek k jeho dosažení. Bod zůstane tak zachován, ale pro splnění této podmínky je nutné stanovit funkční opatření.

Jestliže vycházíme z výše uvedeného bodu 6.1, kde je mj. uvedená podmínka nutného přístupu pro provádění údržby a kontroly, pak většina bezstrojovnových výtahů by měla splňovat toto opatření zvláštním přístupem, který bude možné v provozu využít za podmínky zachování přístupu a zároveň bezpečnosti práce. Jestliže toto opatření není splněno, pak bude nutné doplnit následující ustanovení v podobě nového bodu předmětné normy. Ten by mohl být vložen jako pod bod navazující následujícího bodu:

„6.4 Strojní zařízení uvnitř šachty“

Doplnit volný bod 6.4.1

„Jestliže je v šachtě umístěné strojní zařízení, ke kterému není přístup za běžného provozu, není tedy možné provádět kontrolní činnosti za provozu zařízení, je nutné učinit taková náhradní opatření, která tento přístup nahradí. Vyhovujícím náhradním opatřením je doplnění diagnostického zařízení pro diagnostiku provozního opotřebení.“

7 Závěr

Z praktických zkušeností provozu bezstrojovnových výtahů velmi dobře vidíme, že stanovené normy nemusí být vždy zcela postihující pro nově vznikající konstrukce. Princip aplikace příslušných článků norem je nutné nejen brát v úvahu, ale především je také dobře aplikovat. Je zjevné, že ne vše je tak dokonalé, jak se zdá. Normy je nutné stále udržovat a reagovat tak na trendy vývoje v této oblasti. V některých případech je nutné zasáhnout i takovým způsobem, aby nedocházelo k omezení či snížení zdraví při provozu a při práci. Vážnost události v pražském metru vedla k mnoha otázkám. Jednou z nich, a domnívám se tou hlavní, byla otázka, zda-li bylo možné celé havárii předejít.

Protože příčina události havárie byla zcela zjevná, byl smysl práce jednoznačný. Tím bylo nalezení metodiky kontrolní činnosti stávajících bezstrojovnových výtahů a podání návrhu změny platné normy. Cílem bylo nastavení takových opatření, aby u stávající technologie nedošlo k opakování vzniklé situace a nové technologie podobného charakteru již dále nevznikly. Z podobnosti konstrukce bylo nalezeno řešení provádění kontrolních měření, byl určen měřicí přístroj a měřicí mechanismus k provádění ověřovacích bodů. Následně pak byla stanovena metodika posuzování naměřených výsledků. Po hledání příčiny a podobnosti jednotlivých konstrukcí byl nalezen problém nepovedeného vnímání platné normy pro projektování a konstrukci výtahové technologie. Protože se tato problematika týká obecně všech bezstrojovnových výtahů byl přístup k této problematice o to důslednější. Bylo nalezeno řešení sledování stavu vývoje opotřebení k zamezení vzniku podobné události i přes nemožný přístup a provádění tak kontrolní činnosti dle platné legislativy.

Stanovený cíl práce byl tak splněn definováním způsobu a postupu provádění náhradní kontrolní činnosti. Vzhledem k vysoké efektivitě zjištěných dat, byl tento systém přijat do následných opatření provozu bezstrojovnových výtahů v pražském metru. Dopravní podnik hl. města Prahy tak následně stanovil opatření pro projektování výtahů v pražském metru, kde tato diagnostika již u nových výtahů musí být vyřešena a definována jako součást návodu pro údržbu. Zadaný úkol návrhu pro změnu normy byl identifikován a jeho návrh na změnu konkrétní normy je součástí kapitoly 6. Jako vedlejší produkt této práce je možnost reálné aplikace systémové diagnostiky sledování opotřebení točivých strojů v jakémkoliv odvětví. Dopravní podnik hl. města Prahy této metodiky využije i u sledování opotřebení ložisek hlavních hřídelí u vybraných pohyblivých schodů.

Závěrem se přikláním k názoru pana Václava Vaňka. Použití výtahů bez strojovny by mělo být jen alternativou [15] nikoliv však základním typem výtahů tak, jak tomu je u většiny dodavatelů výtahové technologie. V případě, kdy není jiné východisko a dojde k použití bezstrojovnového výtahu, je nutné vypracovat podrobný postup pro provádění kontroly opotřebení jednotlivých komponentů výtahů včetně pohonné jednotky a nastavit zajištění přístupu k pohonné jednotce. Realizace každého výtahu musí být dokonalým propojením konstrukce technologie s propojením všech servisních činností tak, aby bylo možné potřebné činnosti provádět dle potřeb jednotlivých kontrol, stanovit kontroly a úrovní všech činností prokázat kvalitu výrobku. Hodnocení technologie není odvislé od ceny nákladů na dodávku, ale i od kvality provozování a náročností provádění servisních úkonů. To vše po celou životnost zařízení nikoliv jen v prvotní investici před uvedením do provozu.

8 Použité zdroje

1. ČSN EN 81-2+A3 *Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Část 2: Hydraulické výtahy*, m.a.s.z. Úřad pro technickou normalizaci, Editor. 2010: Praha. p. 184.
2. ČSN EN 81-1+A3 *Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Část 1: Elektrické výtahy*, m.a.s.z. Úřad pro technickou normalizaci, Editor. 2011: Praha. p. 176.
3. ČSN 27 4002 *Bezpečnostní předpisy pro výtahy - Provoz a servis*, Č.n. institut, Editor. 2003: Praha. p. 56.
4. *Vyhláška Ministerstva Dopravy 100/1995 Sb.* 1995. p. 16.
5. Kubík, V. <http://www.vytahy-kubik.cz/trakcni-pohon/>. [2015. 02. 15.]
6. Strakosch, G.R. and R.S. Caporale, *The vertical transportation handbook*. 4 ed. 2010, New Jersey: John Wiley & Sons. 482.
7. Sassi, A., *Catalogo Argani*, A.S. S.p.A., Editor. 2013: Crespellano BO (Italy). p. 60.
8. EM Brno s. r. o., *Výtahový stroj NL24*. [2015. 02. 15.]
9. Sassi, A., *Catalogo Gearless*, A.S. S.p.A., Editor. 2013: Crespellano BO (Italy). p. 48.
10. Hudeczek, M., *Zvyšování spolehlivosti asynchronních elektromotorů včetně poháněných strojů*. Technická diagnostika, ed. P. Santarius. 2011, Karviná: Vydavatelství a nakladatelství Hudeczek Service. 299.
11. Janoušek, I., et al., *Technická diagnostika*. 1988, Brno: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 432.
12. Greaser, R.A., *Technika. Evolution*, [2015. 02.15.]
13. Edufor s. r. o., <http://www.vernier.cz>. [2015. 03. 01.]
14. Janovský, L. and J. Doležal, *Technický průvodce 55. Výtahy a eskalátory*, ed. Z. Cvekl, F. Jaroš, and O. Smetánka. 1980, Praha: SNTL. 695.
15. Tal, F. and V. Vaněk. *Porovnání výtahu bez strojovny s klasickým trakčním výtahem*, <http://vytahy.tzb-info.cz/provoz-a-servis/5570-porovnani-vytahu-bez-strojovny-s-klasickym-trakcnim-vytahemPorovnani> [2015. 03. 01.]

9 Seznam obrázků

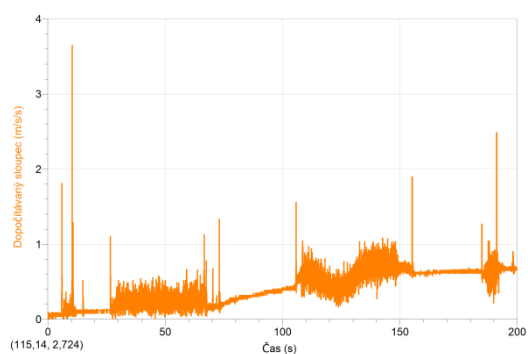
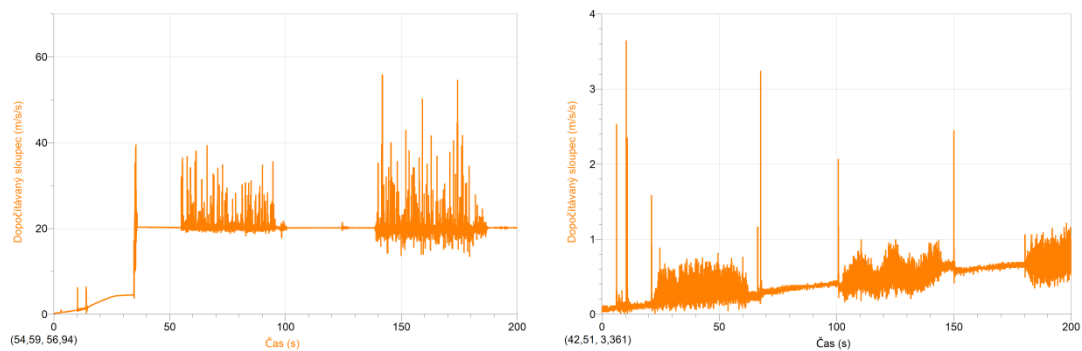
Obr. 1 Sch. strojovnového výtahu s centrálním rámem kabiny [5]	10
Obr. 2 Sch. bezstrojovnového výtahu s ruksakovým rámem kabiny [5]	10
Obr. 3 Sch. bezstrojovnového provedení výtahu GeN2 [6]	12
Obr. 4 Sch. bezstrojovnového provedení s centrálními vodičky kabiny [5]	12
Obr. 5 Převodový stroj Sassi Leo [7]	12
Obr. 6 Bezpřevodový stroj EM Brno [8]	13
Obr. 7 Rozměrové vlastnosti převodového stroje Alberto Sassi Leo [7]	15
Obr. 8 Rozměrové vlastnosti bezpřevodového stroje Alberto Sassi G-400 [9]	16
Obr. 9 Foto umístěného pohonu na výtahu 613-1-217 ve stanici pražského metra Ládví	18
Obr. 10 Foto umístěného pohonu na výtahu 613-1-423 ve stanici pražského metra Prosek	19
Obr. 11 Magnetický stojánek s úchylkoměrem.	21
Obr. 12 Ukotvení stojánku s následným provedením měření opotřebení. Vertikální poloha stroje Alberto Sassi Leo	21
Obr. 13 Výměna opotřebovaného oleje a jeho postupné znečištění	23
Obr. 14 Opětovné doplnění oleje, nový výchozí bod životnosti oleje	24
Obr. 15 Konstrukční řešení válečkového ložiska [12]	27
Obr. 16 Konstrukční řešení kuličkového ložiska [12]	27
Obr. 17 Abrazivní opotřebení ložiska [10]	28
Obr. 18 Rozpadlá klec válečkového ložiska	28
Obr. 19 Kavitační opotřebení kuličkového ložiska [10]	29
Obr. 20 Kontaktní plochy záběrů zubů	29
Obr. 21 Adhezivní opotřebení, postupný vývoj	30
Obr. 22 Počáteční a pokročilá kavitace	30
Obr. 23 Měřicí přístroj datalogger Labquest 2	36
Obr. 24 3D Univerzální akcelerometr umožňující současné měření všech tří složek zrychlení [13].	37
Obr. 25 Zobrazený průběh měření akcelerací v osách x , y , z a dopočítávané zrychlení D	37
Obr. 26 Nerezové teplotní čidlo	38
Obr. 27 Měření relativní vlhkosti	38
Obr. 28 Upevněné měřicí čidlo na pohonu	40
Obr. 29 Tabulkový a grafický záznam všech tří os x , y , z a jejich dopočítávaného D	41
Obr. 30 Záznam akcelerace dopočítávaného sloupce D v závislosti na času	42
Obr. 31 Znečištěné měření pozadím vibrace konstrukcí	43
Obr. 32 Hodnocené křivky dopočítávaného sloupce D	43
Obr. 33 Závislost rychlosti výtahu v na jízdní dráze s [14]	44
Obr. 34 Výsledný graf před korekcí y_0	46
Obr. 35 Výsledný graf po provedené korekcí y_0	47
Obr. 36 Měření pohonu výtahu 613-1-217 před provedením opravy	47
Obr. 37 Italský závod výrobce Alberto Sassi v Craspellanu	48
Obr. 38 Výsledný graf před korekcí y_0	50
Obr. 39 Výsledný graf po provedené korekcí y_0	50
Obr. 40 Měření pohonu výtahu 613-1-217 po provedené opravě	51

10 Seznam tabulek

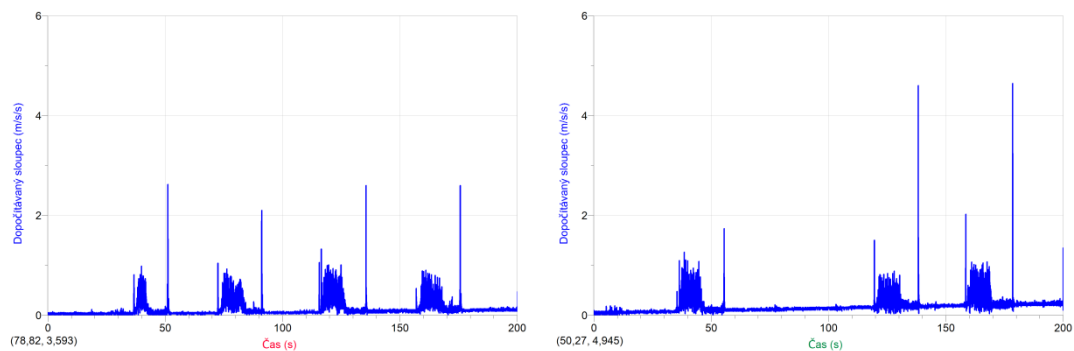
Tabulka 1 Seznam analyzovaných výtahů	32
Tabulka 2 Životnost pohonů s ohledem na dobu provozu	33
Tabulka 3 Počet jízdy jednotlivých výtahů	34
Tabulka 4 Přehled prostředí během prováděného měření	35
Tabulka 5 Výpočet opotřebení pohonu před opravou	46
Tabulka 6 Výpočet opotřebení pohonu po provedené opravě	49

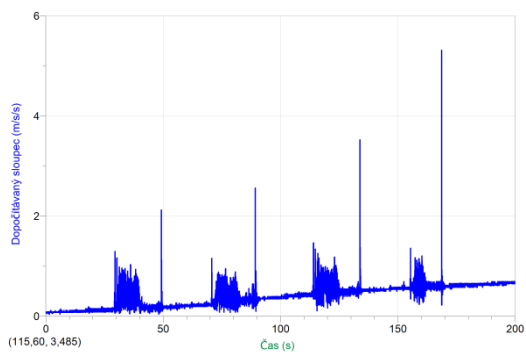
1 Příloha 1

Výsledné grafy z provedeného měření

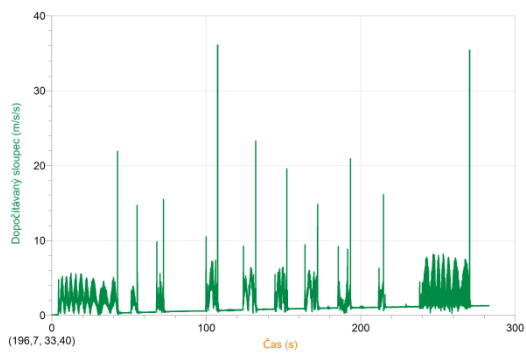
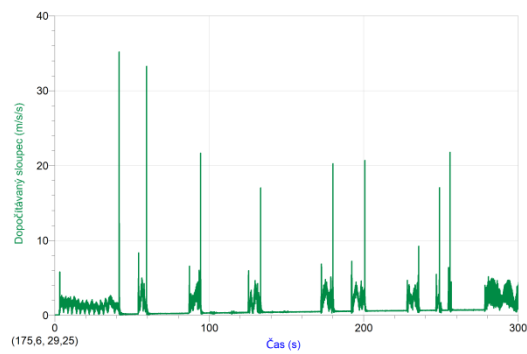
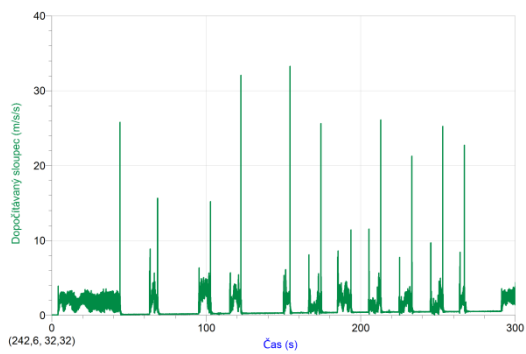


Obr. 1 Měření výtahu 613-1-027

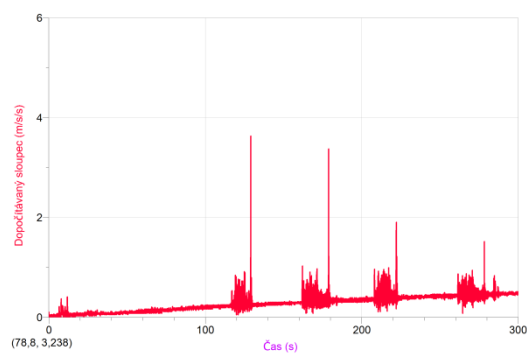
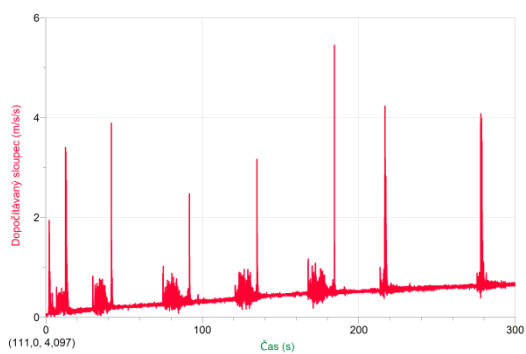


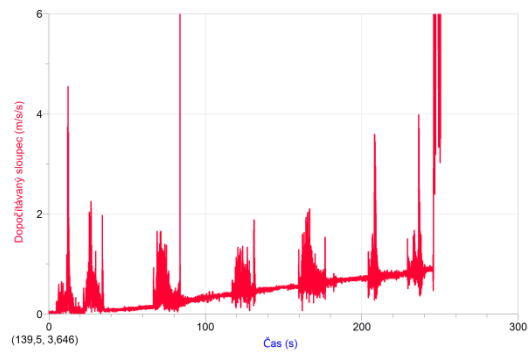
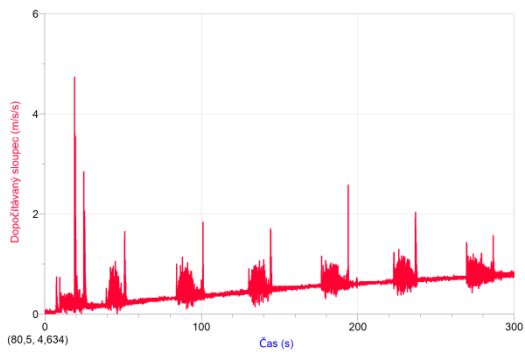


Obr. 2 Měření výtahu 613-1-063

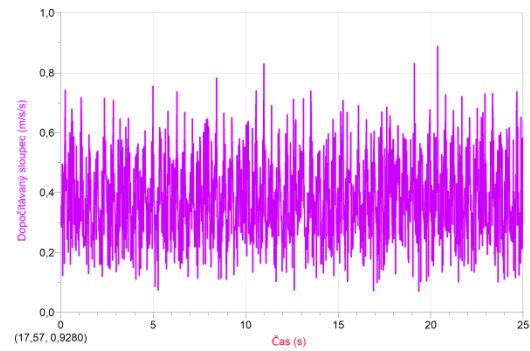
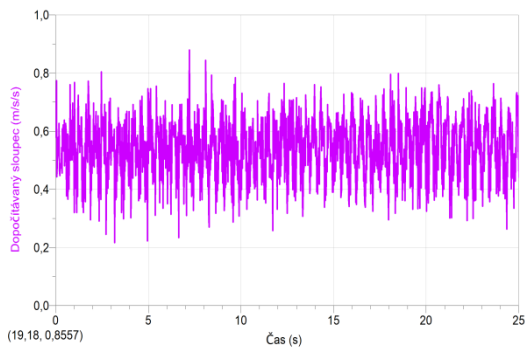


Obr. 3 Měření výtahu 613-1-184

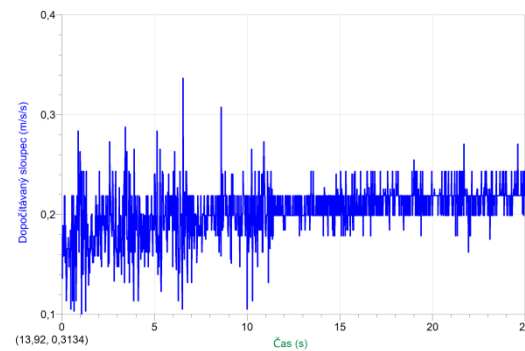




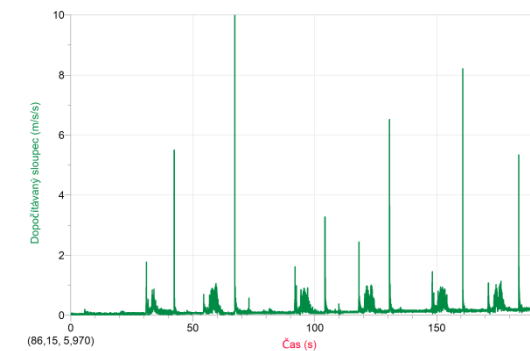
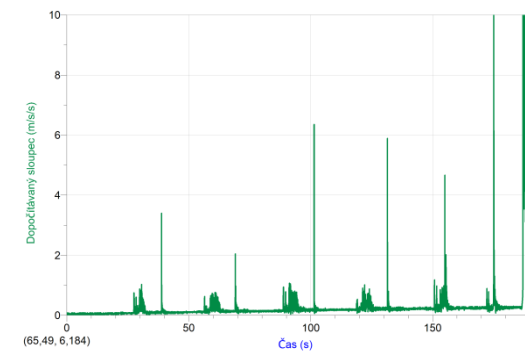
Obr. 4 Měření výtahu 613-1-217

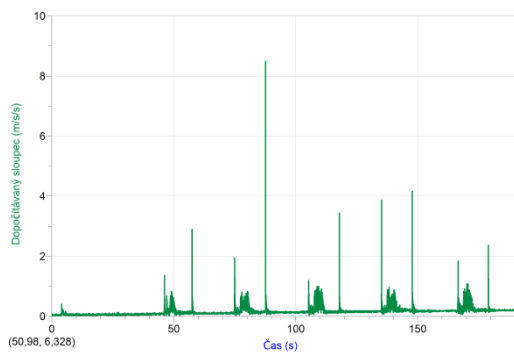


Obr. 5 Měření provozu motoru před a po opravě ložisek 613-1-217

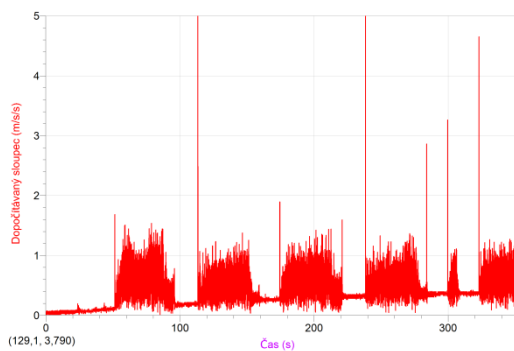
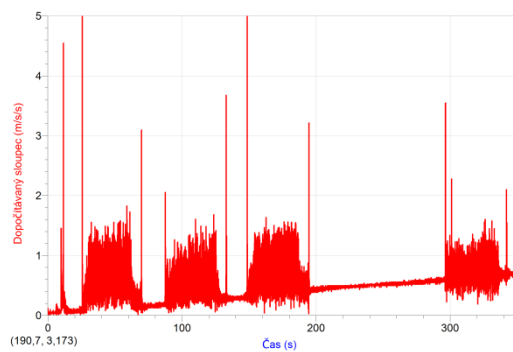
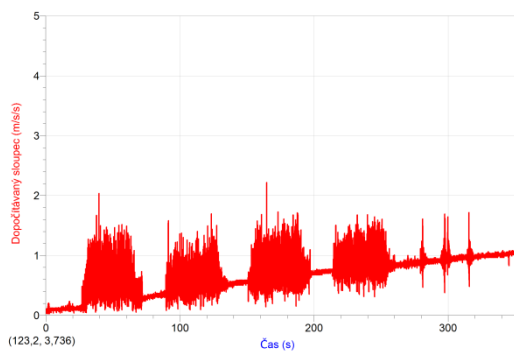


Obr. 6 Měření pozadí výtahu 613-1-217

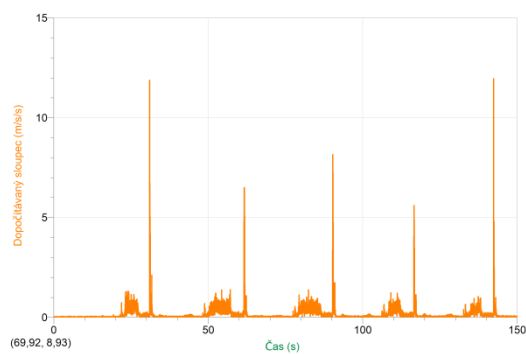
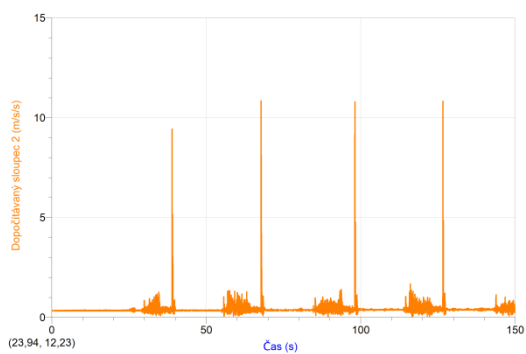


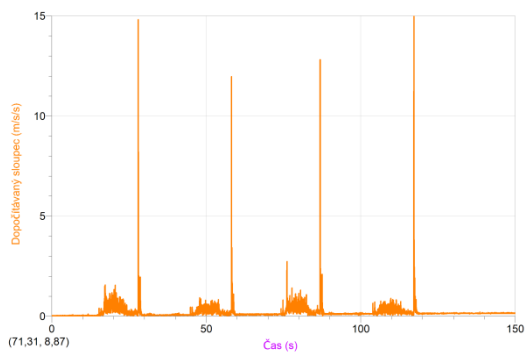


Obr. 7 Měření výtahu 613-1-403

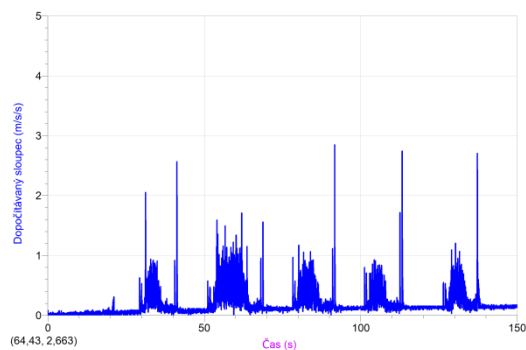
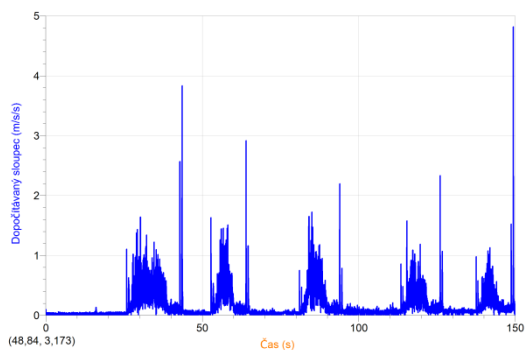


Obr. 8 Měření výtahu 613-1-405

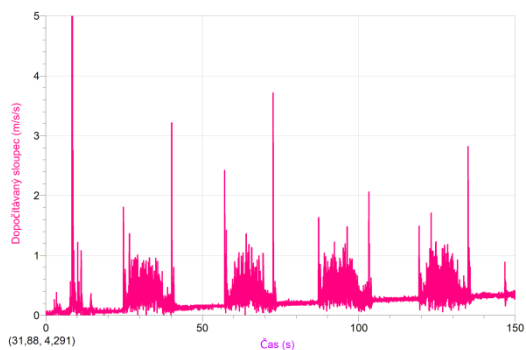
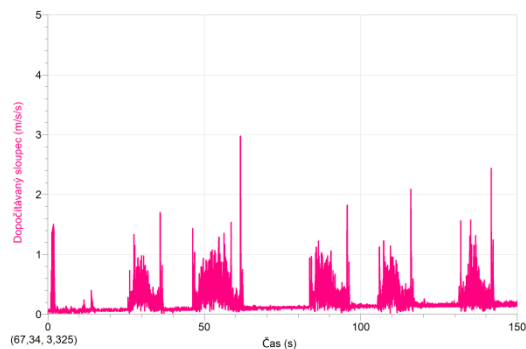
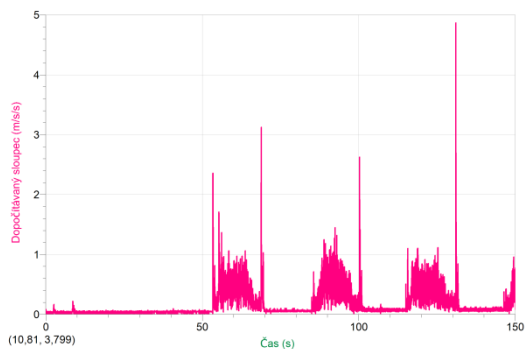




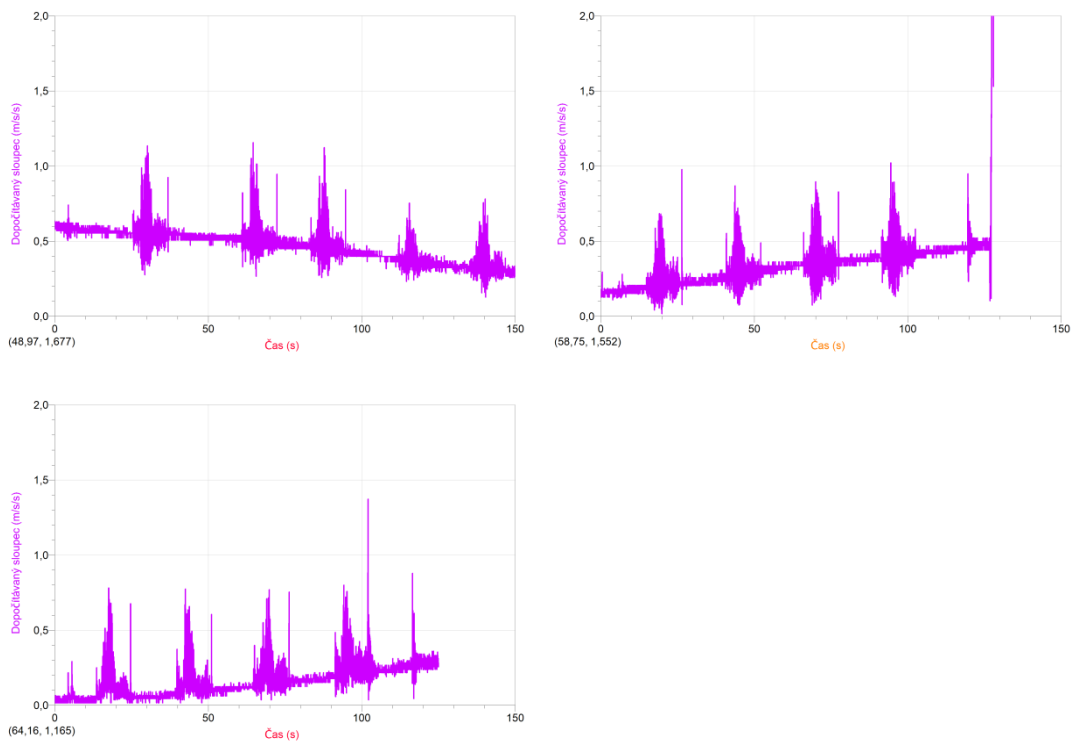
Obr. 9 Měření výtahu 613-1-415



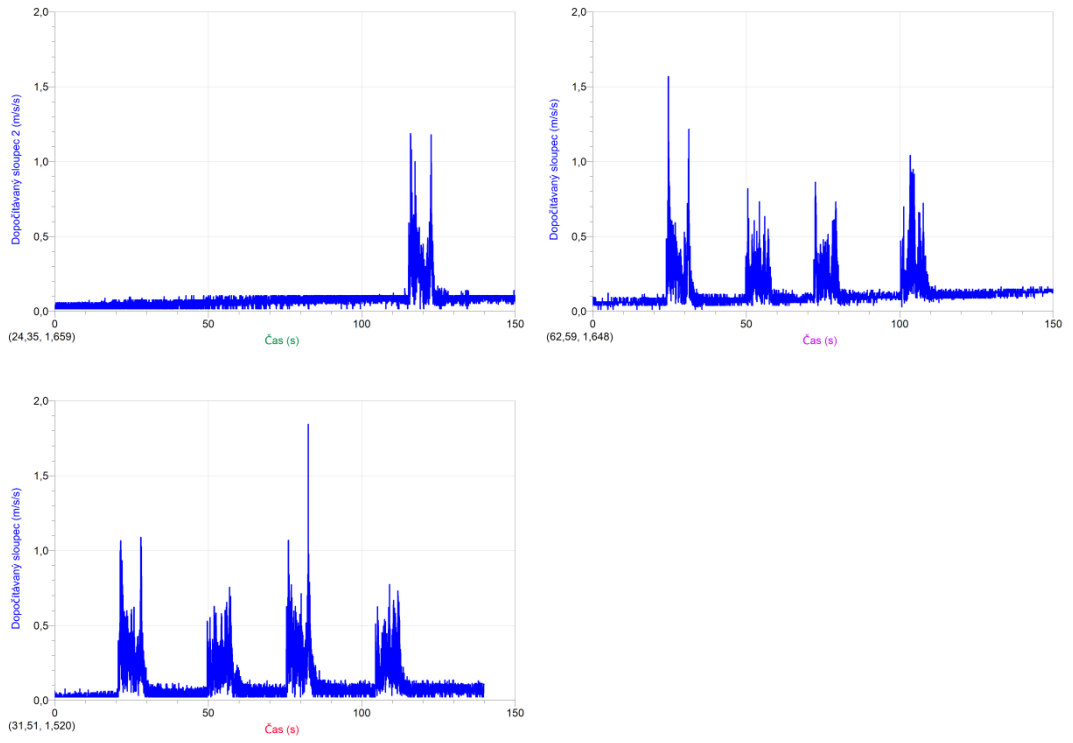
Obr. 10 Měření výtahu 613-1-420



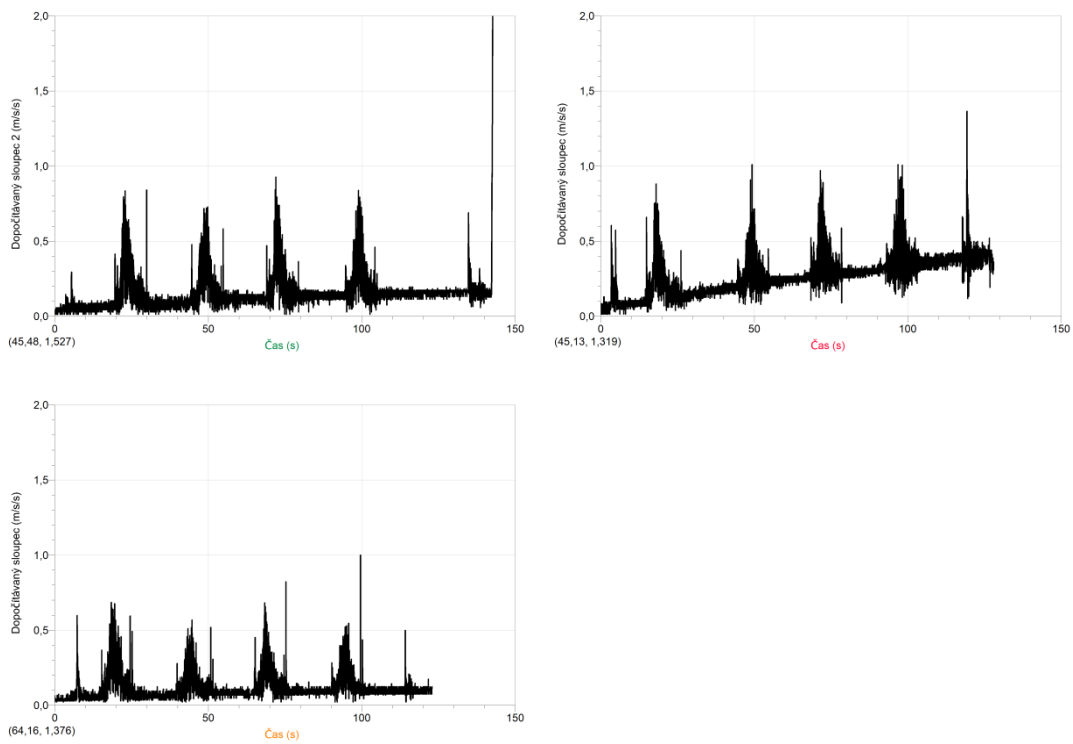
Obr. 11 Měření výtahu 613-1-421



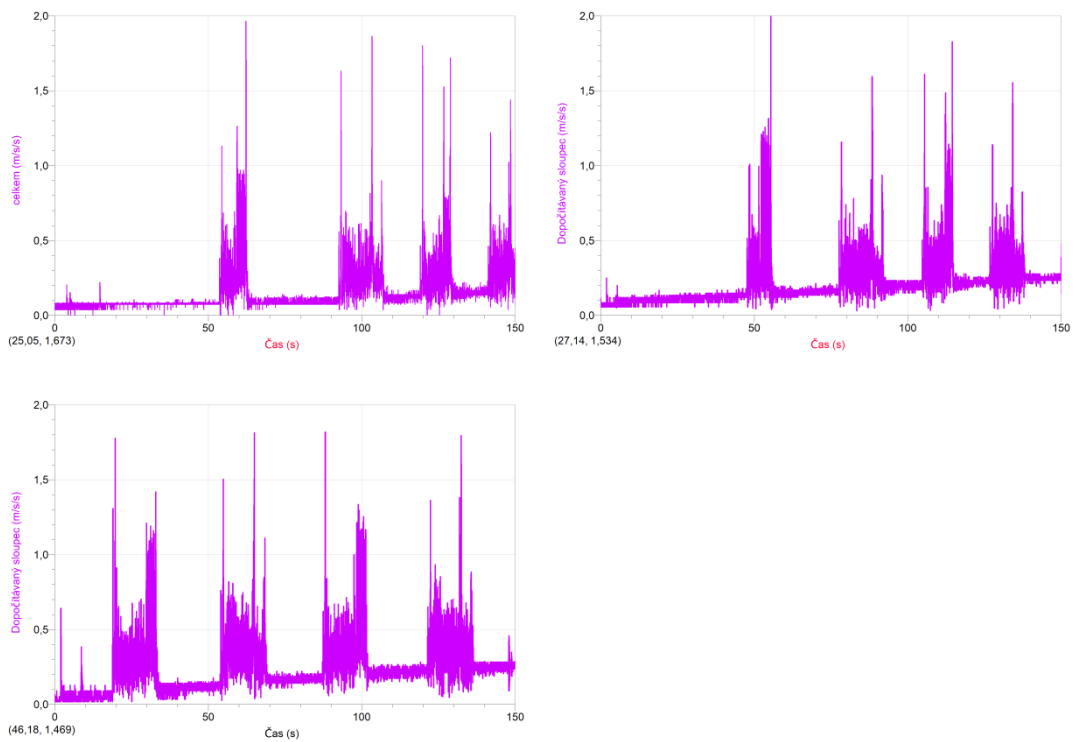
Obr. 12 Měření výtahu 613-1-422



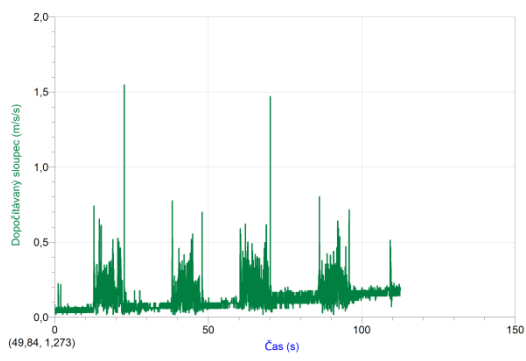
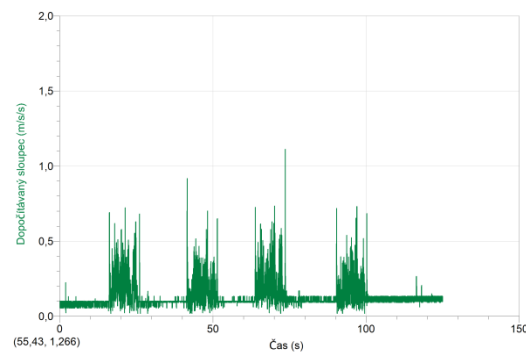
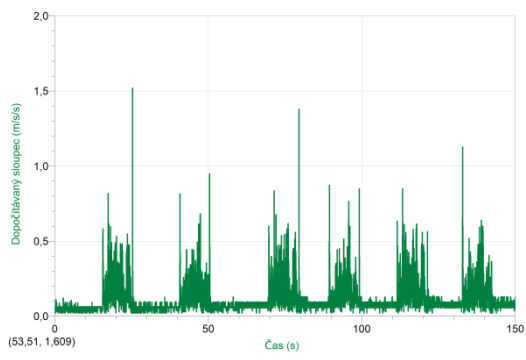
Obr. 13 Měření výtahu 613-1-423



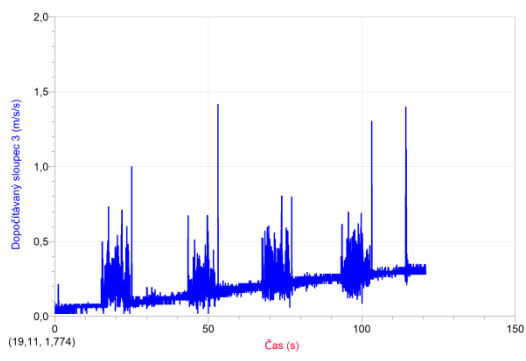
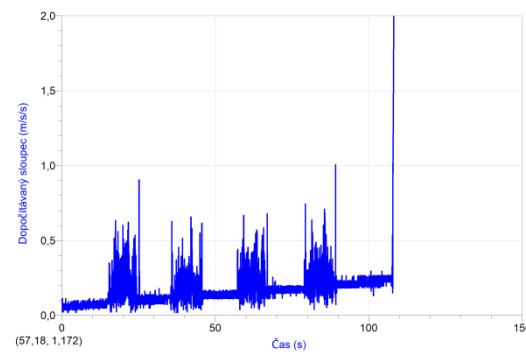
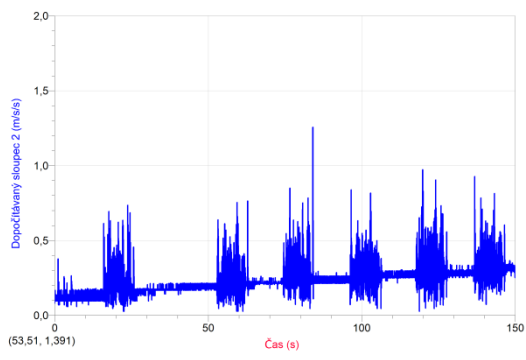
Obr. 14 Měření výtahu 613-1-424



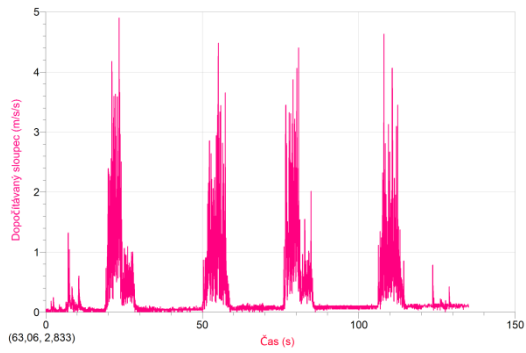
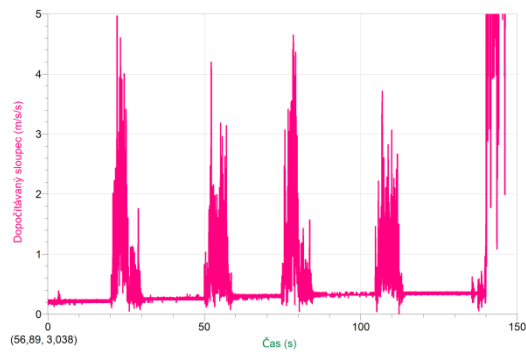
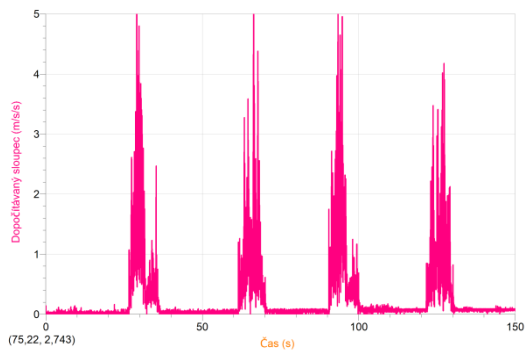
Obr. 15 Měření výtahu 613-1-435



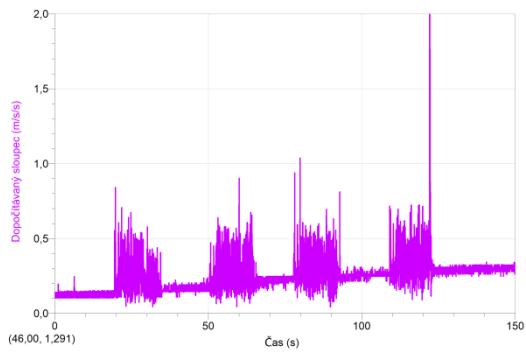
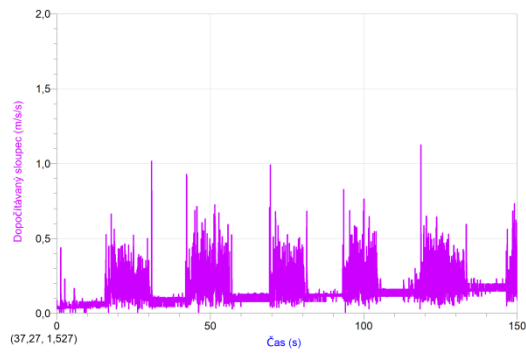
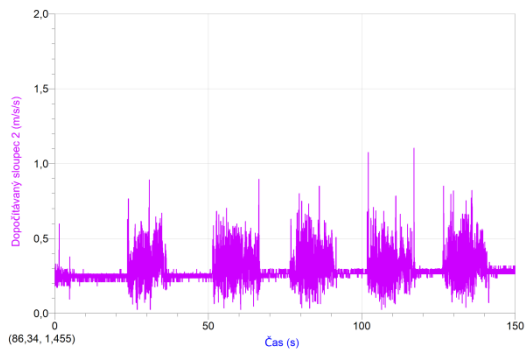
Obr. 16 Měření výtahu 613-1-438



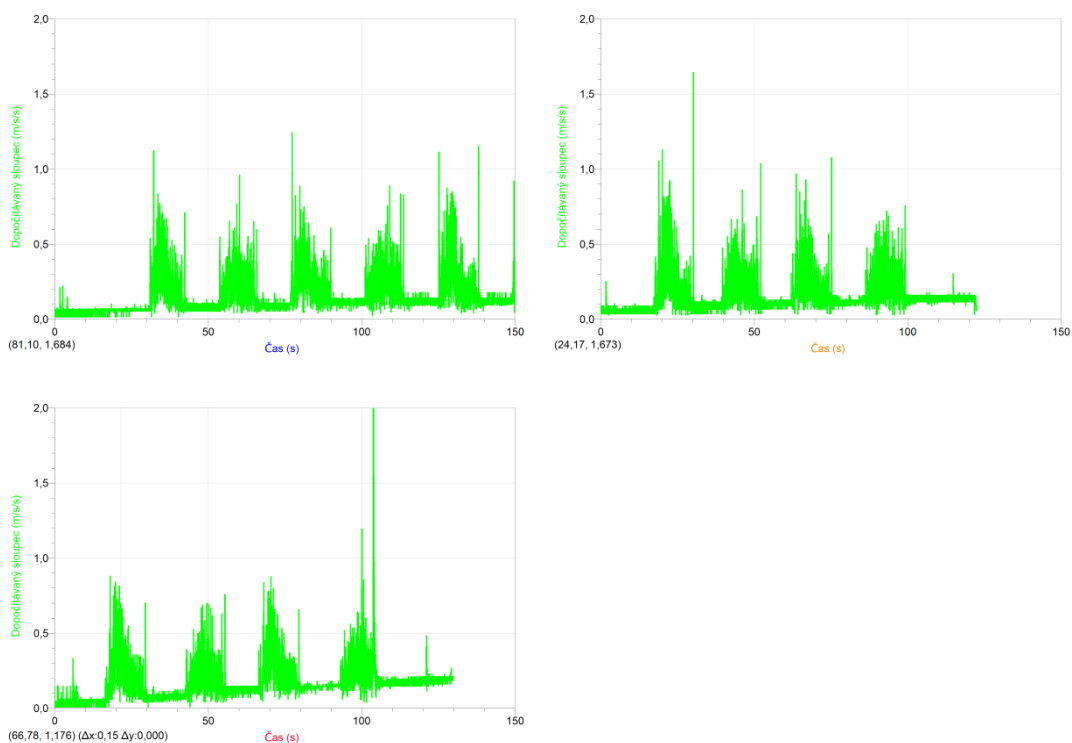
Obr. 17 Měření výtahu 613-1-439



Obr. 18 Měření výtahu 613-1-440



Obr. 19 Měření výtahu 613-1-441



Obr. 20 Měření výtahu 613-1-442

2 Seznam obrázků

Obr. 1 Měření výtahu 613-1-027.....	I
Obr. 2 Měření výtahu 613-1-063.....	II
Obr. 3 Měření výtahu 613-1-184.....	II
Obr. 4 Měření výtahu 613-1-217.....	III
Obr. 5 Měření provozu motoru před a po opravě ložisek 613-1-217	III
Obr. 6 Měření pozadí výtahu 613-1-217	III
Obr. 7 Měření výtahu 613-1-403.....	IV
Obr. 8 Měření výtahu 613-1-405.....	IV
Obr. 9 Měření výtahu 613-1-415.....	V
Obr. 10 Měření výtahu 613-1-420.....	V
Obr. 11 Měření výtahu 613-1-421.....	V
Obr. 12 Měření výtahu 613-1-422.....	VI
Obr. 13 Měření výtahu 613-1-423.....	VI
Obr. 14 Měření výtahu 613-1-424.....	VII
Obr. 15 Měření výtahu 613-1-435.....	VII
Obr. 16 Měření výtahu 613-1-438.....	VIII
Obr. 17 Měření výtahu 613-1-439.....	VIII
Obr. 18 Měření výtahu 613-1-440.....	IX
Obr. 19 Měření výtahu 613-1-441.....	IX
Obr. 20 Měření výtahu 613-1-442.....	X