

## MĚŘENÍ TAHOVÝCH SIL V LANECH

### MEASUREMENT OF TENSION FORCES IN ROPES

Leopold Hrabovský<sup>1</sup>

---

*Anotace: Příspěvek popisuje konstrukční návrh měřicího stanoviště pro snímání osových sil v lanech, které umožňuje nepřímou metodou snímat vyvozenou osovou sílu v laně. Součástí příspěvku je také konstrukční řešení hydraulického vyrovnávače tahu v lanech, který umožňuje snímat hodnotu tahové síly v laně a vyrovnávat rozdílné hodnoty tahových sil ve vícelanových systémech elektrických výtahů.*

*Klíčová slova: osová síla, nosné lano, elektrický výtah, měřicí stanoviště.*

*Summary: This entry describe constructional design of a measurement device for detection tension forces in ropes. In the contribution, two principles of devices for setting the required value of tensile force in ropes are mentioned and subjected to the analysis of practical applicability.*

*Key words: tension force, steel rope, electric lift, measurement device.*

## ÚVOD

V rámci projektu SP2018/110 Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, s názvem „Výzkum a vývoj v oblasti dopravy“, SV3428812 - „Vývoj, výzkum a realizace zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení“, bylo předmětem zájmu zrealizovat zařízení, které umožní snímat působící tahovou sílu vyvozenou v nepřerušném průřezu tažného prvku a vývoj zařízení, které umožní získávat, ověřovat a verifikovat skutečné působící tahové síly v dílčích průřezech tažných prvků.

Znalost skutečné hodnoty působící tahové síly v dílčím průřezu tažného prvku je nezbytná pro rovnoměrné rozložení tíhy působící zátěže do více průřezů tažných prvků, které jsou běžně využívány v praxi u vícelanových dopravních zařízení. V praxi dochází vlivem rozdílné průtažnosti tažných prvků k vyvození rozdílného napětí v dílčích průřezech tažných prvků, čímž jsou jednotlivé tažné prvky nerovnoměrně tahem namáhány.

## 1. SNÍMAČE NAPĚTÍ NOSNÝCH LAN

U provozování elektrických výtahů s třecím kotoučem je dle platné legislativy [1], [2] vyžadováno, aby všechna nosná lana byla zatížena rovnoměrně stejnou tahovou silou. Stejně zatížená nosná lana zvyšuje kvalitu jízdy výtahu a prodlužuje životnost lan a třecích kotoučů. V současné době jsou výtahy vybavovány vyšším počtem nosných lan připevněných k závěsu na kabině a protiváze. Tato lana se běžně pohybují přes trakční kolo

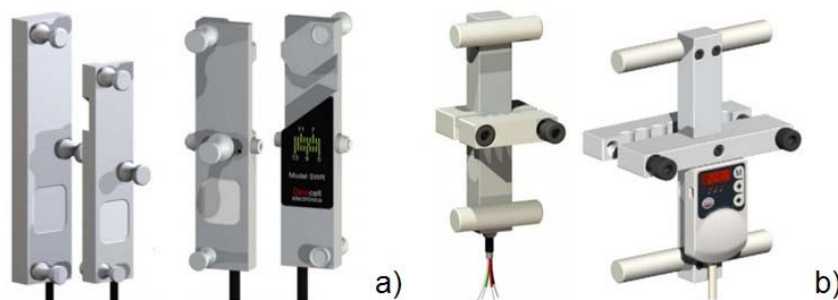
---

<sup>1</sup> doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ústav dopravních a procesních zařízení, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, Tel.: +420 597 323 185, E-mail: [leopold.hrabovsky@vsb.cz](mailto:leopold.hrabovsky@vsb.cz)

výtahového stroje, viz obr. 8c, nebo kladky a uvádějí kabinu výtahu do pohybu směrem nahoru a dolů.

Pokud je některé z nosných lan zatíženo více než jiné, lano s menším zatížením začne klouzat přes trakční kolo a může způsobovat nadměrné opotřebení drážky třecího kotouče. Toto opotřebení je možné odhalit pomocí vibrací v lanech a nebo přítomností kovových částic v drážce trakčního kola.

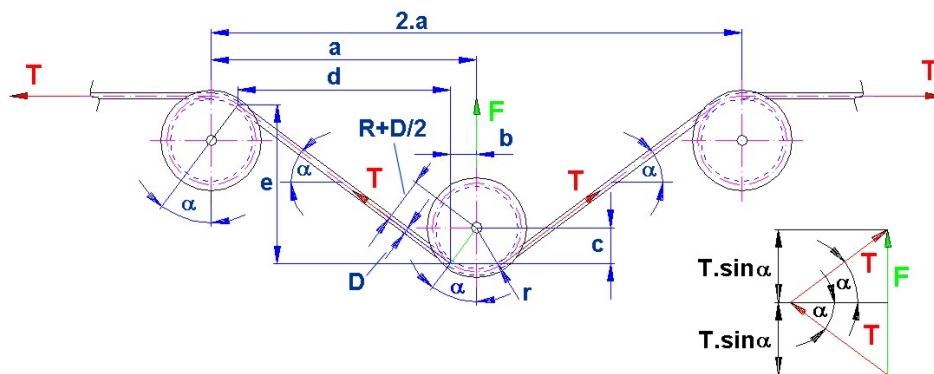
Za normálních podmínek výtah funguje lépe, pokud jsou všechna lana v instalaci zatížena rovnoměrně stejným tahem s max. odchylkou přibližně okolo  $\pm 5\%$  nominální zátěže.



Zdroj: <http://www.liftecgroup.com/lana.html> [3]

Obr. 1 - Snímače vážení na lana společnosti DINACELL ELECTRONICA S.L. [4]  
a) snímač napětí jednoho lana, b) snímač napětí všech lan

Snímačů napětí lan je řada provedení - obecně lze tyto snímače klasifikovat dle toho, zda jeden snímač snímá napětí všech lan (viz obr. 1,a) nebo zda jeden snímač snímá napětí jediného lano, viz obr. 1,b. Snímače napětí lan dle obr. 1 (3), (4) snímají prohnutí lana/lan. Se zvyšujícím se zatížením v kleci dochází ke zmenšení průhybu lana, viz obr. 2, v důsledku vyvozeného nárůstu tahové síly.



Zdroj: autor

Obr. 2 Stanovení tahové síly v laně lanovým senzorem

Snímána hodnota tahové síly v nosném laně  $T$  [N], viz obr. 2, s využitím snímačů napětí lan se vykazuje poměrně vysokou chybou, neboť síla  $F$  [N] působící na snímací element je ovlivněna úhlem náběhu  $\alpha$  [deg] nosného lana na opěrné body tělesa snímače napětí lan a okamžité hodnotě osové síly  $T$  [N] v nosném laně, viz (1).

$$F = 2 \cdot T \cdot \sin \alpha \text{ [N]} \quad (1)$$

Je-li požadováno určit skutečnou hodnotu tahové síly v nosném laně  $T$  [N], touto

nepřímou metodou, je nutno co nejpřesněji měřit sílu  $F$  [N]. Měření se však při nízkých hodnotách tahové síly v nosném laně  $T$  [N] vykazuje značnou nepřesností. Tato nepřesnost je ovlivněna poměrně vysokou ohybovou tuhostí ocelového lana, které není schopno vlivem své omezené poddajnosti (zejména při vyšších průměrech lan) se dokonale ohýbat přes opěrné body snímačů napětí lan, které jsou vzájemně vůči sobě relativně blízko umístěny. V reálném konstrukčním provedení snímačů napětí lan, viz obr. 1, (3), (4), je nosné lano vedeno přes opěrné body tělesa snímače napětí lan pod malým úhlem náběhu  $\alpha$  [deg], viz obr. 3, což zvyšuje chybu stanovení skutečné hodnoty tahové síly v nosném laně  $T$  [N], neboť hodnota měřené síly  $F$  [N], vyjádřená vztahem (1), nabývá pro malé hodnoty úhlu  $\alpha$  [deg] nízkých hodnot.



Zdroj: autor

Obr. 3 Vedení lana přes opěrné body tělesa snímače napětí lan

## 2. ZAŘÍZENÍ DETEKUJÍCÍ TAHOVÉ SÍLY V LANECH

Za účelem verifikace měřených hodnot tahové síly v nosném laně  $T$  [N] pomocí snímačů napětí lan s metodou popsanou v kapitole 3 tohoto příspěvku bylo vytvořeno měřící stanoviště, viz obr. 4, které na dvou zařízeních umožňuje měřit tahovou sílu v nosném laně.

Měřící stanoviště pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení, viz obr. 4, je tvořeno svařovaným rámem, který je umístěn pod základovou deskou 44.

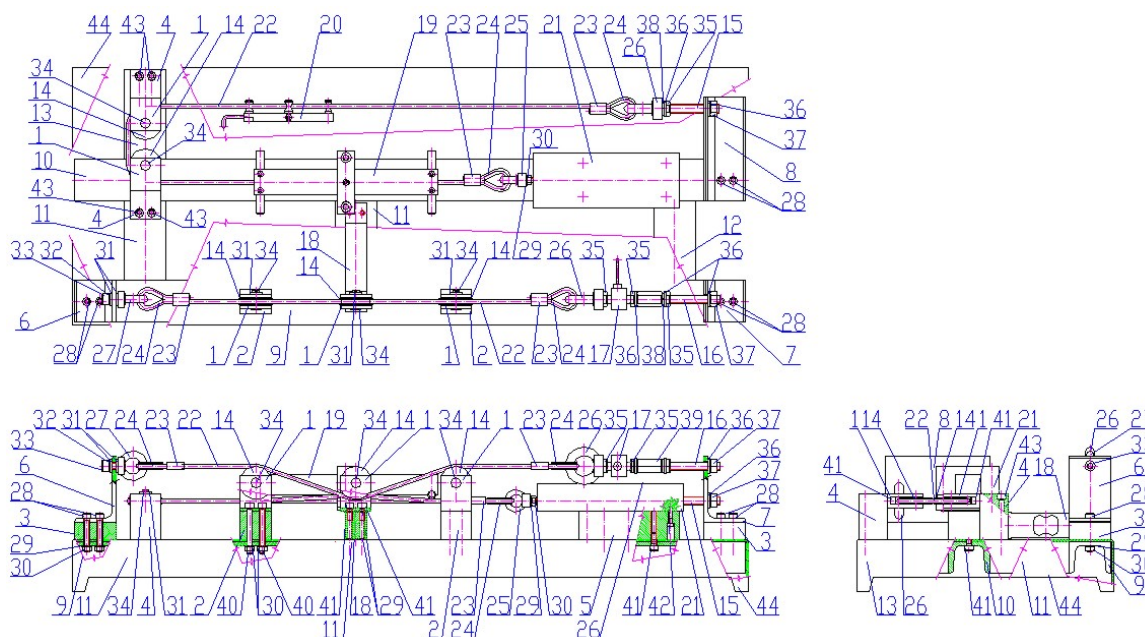
Rám (není jako celek opatřen na obr. 4 vztahovou značkou) je sestaven z profilů U, které jsou vzájemně spojeny svařovanými spoji. Rám je tvořen dvěma podélnými profily 9 a 10 a čtyřmi příčnými profily 11a, 11b, 12 a 13. Svařený rám je shora překryt základovou deskou 44, která tvoří platformu, na níž jsou umístěny jednotlivé části zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení.

*První část měřícího stanoviště*, viz spodní část obr. 4 (podrobně popsáno v (5) a (6)).

Profil 9 je opatřen na své horní ploše, v pravé koncové části, dvěma průběžnými otvory průměru 6,5 mm. Vzdálenost osy prvního otvoru od pravé hrany profilu 9 je 15 mm, vzdálenost osy druhého otvoru od pravé hrany profilu 9 je 30 mm. Skrz otvory průměru 6,5 mm vytvořené v základové desce 44 a v profilu 9 jsou shora provlečeny šrouby 28, které vzájemně spojují díl 7 s profilem 9. Šrouby 28 jsou utaheny přes podložky 29 maticemi 30, viz obr. 4.

Profil 9 je opatřen na své horní ploše dalšími čtyřmi průběžnými otvory průměru 6,5 mm. Vzdálenost osy prvního z těchto otvorů (měřeno od pravé hrany profilu 9) je 340 mm, vzdálenost osy druhého z těchto otvorů od hrany profilu 9 je 355 mm, vzdálenost osy třetího z

těchto otvorů od hrany profilu 9 je 580 mm a vzdálenost osy čtvrtého z těchto otvorů od hrany profilu 9 je 595 mm. Skrze první dva z těchto otvorů a také skrze druhé dva z těchto otvorů vytvořených v základové desce 44 a v profilu 9 jsou shora provlečeny závitové části šroubů 40, které vzájemně spojují podstavy držáků kladky 2 (které nesou držáky kladky 1) s profilem 9. Dvěma otvory průměru 6,5 mm, vytvořenými v horizontální části držáku kladky 1, jsou provlečeny šrouby 40, které dále vedou průběžnými otvory v podstavě držáků kladky 2, otvory v základové desce 44 a v profilu 9. Konce závitových částí šroubů 40 (vystupující spodní plochou profilu 9) jsou utaženy přes podložky 29 maticemi 30, viz obr. 4 (podrobněji viz (5)).



Zdroj: autor

Obr. 4 Měřící stanoviště pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení

Profil 9 je opatřen na své horní ploše, v levé koncové části, dvěma průběžnými otvory průměru 6,5 mm. Vzdálenost osy prvního otvoru od levé hrany profilu 9 je 15 mm, vzdálenost osy druhého otvoru od hrany profilu 9 je 30 mm. Skrz otvory průměru 6,5 mm vytvořené v základové desce 44 a v profilu 9 jsou provlečeny šrouby 28, které vzájemně spojují díl 6 s profilem 9. Šrouby 28 jsou utaženy přes podložky 29 maticemi 30, viz obr. 4.

Ve vzdálenosti 442,5 mm (měřeno od pravé koncové hrany profilu 9 je vůči stojině profilu 9 čelně přivařen profil 11a. V koncové části profilu (ve vzdálenosti 14 mm, měřeno od konce profilu 11a) jsou vytvořeny dva průběžné otvory průměru 6,5 mm. Každá z os těchto dvou otvorů je vůči podélné ose profilu 11a vzdálena 17,5 mm. Ze spodní strany profilu 11a jsou oběma průběžnými otvory provlečeny šrouby 46, které dále procházejí přes otvory vytvořené v základové desce 44), viz obr. 4 (blíže viz obr. 4 [5]). Nad horní plochou základové desky 44 jsou na dřívky šroubů 46 nasazeny podložky 29. Závitové části obou šroubů 46 jsou našroubovány do vnitřních závitů ve snímači zatížení 18. Na protilehlé ploše tělesa snímače zatížení 18 jsou do otvorů s vnitřními závity zašroubovány závitové části dvou šroubů 46, které spojují držák kladky 1 s tělesem snímače zatížení 18. Otvory průměru 8 mm v držáku kladky 1 je provlečen čep 34, na kterém je osazena lanová kladka 14. Čep 34 je ve své koncové části osazen podložkou 31 a opatřen průběžným otvorem průměru 2 mm, kterým je provlečena

závlačka 45, zamezující horizontálnímu posuvu čepu 34 vůči držáku kladky 1.

Otvorem průměru 8 mm (osa vytvořeného otvoru je vzdálena od horní plochy základové desky 44 o 88,6 mm) v delším rameni profilu 6 je provlečen šroub 33, viz obr. 4, na jehož závitovou část je našroubován lanový šroub 27. Šroub 33 je osazen pružnou podložkou 32 a podložkou 31 z levé strany profilu 6, podložkou 31 z pravé strany profilu 6 na koncovou závitovou část šroubu 33 je našroubováno závěsné oko 27.

Otvorem průměru 10 mm (osa vytvořeného otvoru je vzdálena od horní plochy základové desky 44 o 88,6 mm) v delším rameni profilu 7 je provlečena závitová tyč 16, viz obr. 4. Na koncovou část závitové tyče 16, vystupující zprava z otvoru v profilu 7 je osazena podložka 36 a matice 37.

Závit konce levé části závitové tyče 16 je našroubován do vnitřního závitu matice 39, zamezení pootočení závitové tyče 16 vůči matici 39 je zabezpečeno pružnou podložkou 38, podložkou 36 a maticí 35.

Do vnitřního závitu protilehlé strany matice 39 je našroubován jeden z vnějších závitů snímače síly 17. Zamezení pootočení snímače síly 17 vůči matici 39 je zabezpečeno podložkou 36 a maticí 35. Druhý z vnějších závitů snímače síly 17 je našroubován do otvoru v lanovém šroubu 26. Zamezení pootočení snímače síly 17 vůči lanovému šroubu 26 je zabezpečeno maticí 35.

Lanový šroub 26, viz spodní část obr. 4 (podrobněji viz [5]) je koncovým prvkem a lanový šroub 27 je počátečním prvkem lanového úvazku (jako celek není opatřen na obr. 4 vztahovou značkou). Lanový úvazek (viz obr. 6 [5]) délky 555 mm (vztaženo k osám ok lanových šroubů 26 a 27) je tvořen těmito komponenty: lanový šroub 27, lanová očnice 24, lanová objímka 23, lano  $\phi$  5 mm 22, lanová objímka 23, lanová očnice 24 a lanový šroub 26.

Do vnitřního závitu (M8) lanového šroubu 27 je našroubována závitová část šroubu 33, viz obr. 4, jehož dřík prochází průběžným otvorem ( $\phi$  8,5 mm) vrtaném v tyči L 6 (osa díry je od spodní plochy tyče L vzdálená 88,6 mm). Pod hlavou šroubu 33 je osazena podložka 31 a pružná podložka 32. Šroub 33 tímto vzájemně mechanicky propojuje tyči L 6 s počáteční částí lanového úvazku.

Lano 22 lanového úvazku je navedeno shora na první (zleva při pohledu viz obr. 4) lanovou kladku 14, po příslušném opásání lana 22 drážkou první lanové kladky 14 je lano 22 navedeno zespodu na druhou (zleva při pohledu viz obr. 4) lanovou kladku 14 (která je pomocí držáku kladky 1 a dvou šroubů 41 uchycena ke snímači 18).

Po opásání lana 22 drážkou druhé lanové kladky 14 je lano 22 navedeno shora na třetí (zleva při pohledu viz obr. 4) lanovou kladku 14.

Konec lanového úvazku (pravá část viz obr. 6 [5]) je opatřen lanovým šroubem 26. Do vnitřního závitu (M10) lanového šroubu 26 je našroubována závitová část snímače 17. Pro případné zamezení vyšroubování závitové části snímače 17 z vnitřního závitu lanového šroubu 26 je použita matice 35.

Protilehlá závitová část snímače 17, viz obr. 4, je našroubována do matice 39, proti uvolnění je využito podložky 36 a matice 35. Do vnitřního závitu (na protilehlé čelní ploše) matice 39 je našroubován vnější závit závitové tyče 16. Závitová tyč 16 je proti pootočení vůči matici 39 pružnou podložkou 38 podložkou 36 a maticí 35.

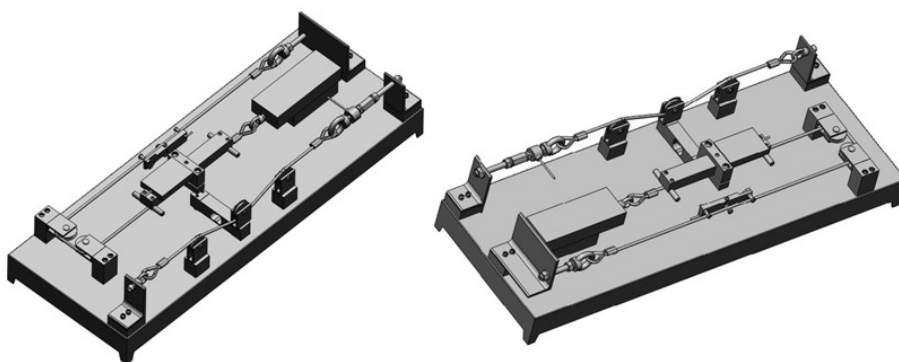
Koncová část závitové tyče 16 je provlečena průběžným otvorem ( $\phi$  10,5 mm) vrtaném v tyči 7 (osa díry je od spodní plochy tyče 7 vzdálená 88,6 mm.). Na závit (který vychází z otvoru v tyči 7) závitové tyče 16 je osazena podložka 36 a matice 37. Závitová tyč 16 tímto vzájemně mechanicky propojuje tyč 7 s koncovou částí lanového úvazku.

*Druhá část zařízení, viz vrchní část obr. 4 (podrobně popsáno viz (7) a (6)).*

Profil 10 je opatřen na své horní ploše, v pravé koncové části, dvěma průběžnými otvory průměru 6,5 mm. Vzdálenost osy prvního otvoru od pravé hrany profilu 10 je 15 mm, vzdálenost osy druhého otvoru od pravé hrany profilu 9 je 30 mm.

Skrze otvory průměru 6,5 mm vytvořené v základové desce 44 a v profilu 10 jsou shora provlečeny šrouby 28, viz obr. 4, které vzájemně spojují díl 8 s profilem 10. Šrouby 28 jsou utaženy přes podložky 29 maticemi 30, které se nacházejí na spodní straně profilu 10.

Profil 10 je opatřen na své horní ploše dalšími třemi průběžnými otvory průměru 6,5 mm. Vzdálenost středu prvního z těchto otvorů (měřeno od pravé hrany profilu 10) je 110 mm, vzdálenost středu druhého z těchto otvorů od pravé hrany profilu 10 je 140 mm a vzdálenost středu třetího z těchto otvorů od pravé hrany profilu 10 je 170 mm. Skrze tyto tři otvory v profilu 10, a tři otvory průměru 6,5 mm vytvořené v základové desce 44, jsou zesponu profilu 10 provlečeny závitové části šroubů 41, které vzájemně spojují držák digitálního siloměru 5 (který na své horní ploše má osazen digitální siloměr 21) s profilem 10.



Zdroj: autor

Obr. 5 3D model zařízení ke snímání tahových sil v lanech vytvořený v SolidWorks

Držák digitálního siloměru 5, o půdorysném rozměru 120 mm (délka) x 50 mm (šířka), je opatřen na spodní ploše čtyřmi otvory průměru 8/4,5 mm, kterými jsou vedeny šrouby 42, které vzájemně spojují digitální siloměr 21 s držákem digitálního siloměru 5. Otvory průměru 4,5 mm jsou vrtány skrz celou výšku ( $h = 35$  mm) držáku digitálního siloměru 5. Otvory průměru 8 mm jsou vrtány do hloubky 20 mm (měřeno od spodní plochy) držáku digitálního siloměru 5 a slouží k uschování válcových hlav šroubů 42 (průměr 7 mm).

Držák digitálního siloměru 5 je opatřen na spodní ploše rovněž třemi průběžnými otvory opatřenými vnitřními závity M6 (střed prvního otvoru je vytvořen ve vzdálenosti 30 mm, druhý ve vzdálenosti 60 mm, třetí ve vzdálenosti 90 mm - měřeno od levé hrany spodní plochy držáku digitálního siloměru 5. Středů všech tří otvorů jsou vytvořeny ve vzdálenosti 25 mm - měřeno od horní, nebo dolní, hrany spodní plochy držáku digitálního siloměru 5) do kterých jsou našroubovány závitové části šroubů 41, které vzájemně spojují držák digitálního siloměru 5 s podélným profilem 10, viz obr. 4.

Profil *11b* o délce 95 mm (podrobně viz obr. 4 (7)), je horní čelní hranou přivařen k boční straně profilu *10* (vzdálenost levé hrany profilu *10* a levé hrany profilu *11b* je 60 mm), je opatřen na své horní ploše dvěma průběžnými otvory průměru 6,5 mm. vzdálenost středu prvního otvoru od pravé hrany profilu *11b* je 17,5 mm, vzdálenost středu druhého otvoru od pravé hrany profilu *11b* je 32,5 mm. Středů obou otvorů jsou vytvořeny ve vzdálenosti 14 mm od horní čelní hrany profilu *11b*.

Skrz otvory průměru 6,5 mm jsou, shora profilu *11b*, provlečeny závitové části šroubů *43*, které jsou ze spodní strany profilu *11b* osazeny podložkami *29* a maticemi *30*, (blíže viz obr 4 [7]) a obr. 4. Hlavy šroubů *43* jsou vsunuty do otvorů (průměru 10,5 mm, hloubky 6 mm) vytvořených v podstavě držáku kladky *4*. Dříčky obou šroubů *43* následně procházejí dvěma průběžnými otvory (průměru 6,5 mm) vytvořenými v základové desce *44*. Šrouby *43* takto vzájemně mechanicky propojují podstavu držáku kladky *4* s profilem *11b*.

Profil *13* o délce 107 mm (blíže viz obr. 5 (7)), který je spodní čelní hranou přivařen k boční straně profilu *10* (vzdálenost levé hrany profilu *10* a levé hrany profilu *13* je 60 mm), je opatřen na své horní ploše dvěma průběžnými otvory průměru 6,5 mm. vzdálenost středu prvního otvoru od pravé hrany profilu *13* je 17,5 mm, vzdálenost středu druhého otvoru od pravé hrany profilu *13* je 32,5 mm. Středů obou otvorů jsou vytvořeny ve vzdálenosti 7,5 mm od horní čelní hrany profilu *13*.



Zdroj: autor

Obr. 6 Zařízení ke snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení - fyzická realizace

Hlavy šroubů *43* jsou vsunuty do otvorů (průměru 10,5 mm, hloubky 6 mm) vytvořených v podstavě držáku kladky *4*. Dříčky obou šroubů *43* následně procházejí dvěma průběžnými otvory (průměru 6,5 mm) vytvořenými v podstavě držáku kladky *4* a otvory (průměru 6,5 mm) v základové desce *44*. Skrz otvory průměru 6,5 mm jsou shora profilu *13* provlečeny závitové části šroubů *43*, které jsou ze spodní strany profilu *13* osazeny podložkami *29* a maticemi *30*, (blíže viz obr 5 [7]) obr. 4. Šrouby *43* takto vzájemně mechanicky propojují podstavu držáku kladky *4* s profilem *13*.

Na horní ploše obou (blíže viz obr. 4 a obr. 5 (7)) podstav držáků kladek *4* jsou vytvořeny dva otvory průměru 0,5/6,5 mm, (viz obr. 7 (7)), (ve vzdálenosti 7,5 mm od koncové hrany horní plochy podstavy držáku kladky *4*) s roztečí os 15 mm (osa každého otvoru je vzdálena 11 mm od boční hrany podstavy držáku kladky *4*). Otvor průměru 10,5 mm v podstavě držáku kladky *4* je vytvořen do hloubky 6 mm a slouží pro zakrytí hlavy šroubu *43*. Průběžné otvory průměru 6,5 mm, jsou vytvořeny skrz celou tloušťku podstavy držáku kladky *4*, slouží k provlečení závitových částí dříček šroubů *43*, který následně prochází otvory průměru 6,5

vytvořenými v základové desce 44 a v profilu 11b. Na konce obou závitových částí šroubů 43 jsou osazeny ze spodní strany profilu 11b podložky 29 a matice 30.

Z čelní plochy digitálního siloměru 21 vystupuje závitová část šroubu M6, viz obr. 4, na tuto závitovou část je našroubována matice 30, osazena podložka 29 a lanový šroub 25. Okem lanového šroubu 25 je provlečen jeden volný konec ocelového lana 22 vedený v lanové očnici 24, který je následně sevřen lanovou objímkou 23 s protilehlým průřezem lana 22.

Ocelové lano 22 je následně opásáno přes dvě lanové kladky 14, viz obr. 4. První i druhá lanová kladka 14 je vsazena do drážky držáku kladky 1, (podrobněji viz obr. 4, obr. 5 a obr. 6 (7)). Čep 34, který prochází otvory v držáku kladky 1 a otvorem v lanové kladce 14, mechanicky otočně spojuje lanovou kladku 14 s držákem kladky 1. Čep 34 je ve své koncové části osazen podložkou 31 a opatřen otvorem průměru 2 mm, kterým je provlečena závlačka 45 zamezující horizontálnímu vysunutí čepu 34 z otvorů v držáku kladky 1.

Lano 22, opouštějící po příslušném úhlu opásání drážku první lanové kladky 14, viz (obr. 4 (7)) a obr. 4, nabíhá do drážky druhé lanové kladky 14.

Lano 22, opouštějící po příslušném úhlu opásání drážku druhé lanové kladky 14, viz (obr. 5 (7)) obr. 4, je následně vedeno lanovou objímkou 23 přes otvor v oku lanového šroubu 26. Konec lana je následně sevřen lanovou objímkou 23. Na vnitřní závit lanového šroubu 26 je našroubována závitová tyč 15 délky 80 mm, viz obr. 4, která je proti vyšroubování z vnitřního závitu lanového šroubu 26 zabezpečena pružnou podložkou 38, podložkou 36 a nízkou maticí 35.



Zdroj: autor

Obr. 7 Tahová síla v laně snímána digitálním siloměrem a její zobrazení na PC v prostředí programu Force Logger verze 1.01

Druhý konec závitové tyče 15 je provlečen otvorem (průměru 10,5 mm) vytvořeném v profilu 8. Na koncovou část závitové části závitové tyče 15 je po provlečení otvorem v profilu 8 nasazena podložka 38 a matice 37. Závitová tyč 15 slouží k napínání ocelového lana 22.

V drážce obou držáků kladek 1, (blíže viz obr. 4 a obr. 5 (7)), lanové kladky 14, jsou vytvořeny dva otvory průměru 6,5 mm (osy otvorů s roztečí 15 mm, každá z os těchto otvorů je vzdálena 11 mm od bočních hran držáku kladky 1). Skrze tyto otvory jsou vedeny šrouby 41, jejich závitové části jsou našroubovány do vnitřních závitů vytvořených v podstavě držáku kladky 4.

Na lano 22 je (v prostoru mezi první lanovou kladkou 14 a lanovou očnicí 23) nainstalován snímač na lana 19, viz obr. 4. Na lano 22 je (v prostoru mezi druhou lanovou



kladkou 14 a lanovou očnící 23) nainstalován snímač na lana SWR 20.

Lanový šroub 26 je koncovým prvkem a lanový šroub 27 je počátečním prvkem lanového úvazku (jako celek není opatřen na obr. 4 vztahovou značkou). Lanový úvazek, délky 1150 mm (vztaženo k osám ok lanových šroubů 26 a 27) je tvořen těmito komponenty: lanový šroub 27, lanová očnice 24, lanová objímka 23, lano  $\phi$  5 mm 22, lanová objímka 23, lanová očnice 24 a lanový šroub 26.

Obr. 5 prezentuje 3D model zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení, vytvořený v modeláři v SolidWorks 2012 x 64 Edition.

Fyzická realizace zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení, je zobrazena na obr. 6.

### 3. SNÍMÁNÍ ZATÍŽENÍ V NOSNÉM LANĚ SNÍMAČI RMT-1, SWK A SWR

Za předpokladu, že jeden volný konec nosného lana (viz lanový šroub 25 na obr. 4) je uchycen k digitálnímu siloměru 21 (který je osazen na držáku digitálního siloměru 5, který je pomocí tří šroubů 41 pevně svázán s rámem zařízení detekujícího osovou sílu v lanech) a jeho druhému konci (viz závitová tyč M10 15 na obr. 4) je umožněno posunu v horizontálním směru, je v nosném laně (při utažení matice 37) vyvozováno tahové zatížení  $T_G$  [kg], které je přímo úměrné působící osově tahové síle  $T$  [N] v nosném laně, která je generována utahováním matice 37.



Zdroj: autor

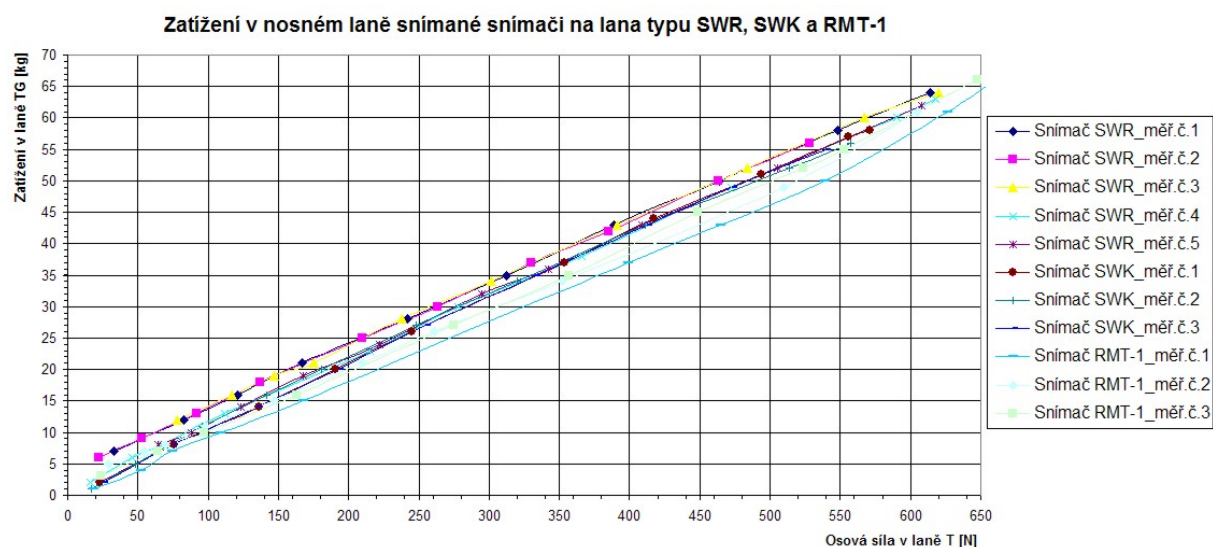
Obr. 8 Odečítání hodnot tahové síly  $T$  [N] z digitálního siloměru a hodnot osového zatížení  $T_G$  [kg] z řídicí jednotky OMEGA 806

Je-li nosné lano opásáno přes dvě kladky (14, viz obr. 4) lze předpokládat; při zanedbání odporů (čepové tření) proti otáčení kladek; že osově zatížení  $T_G$  [kg] (osová síla  $T$  [N]) v ocelovém laně (generována utahováním matice 37) nabývá po celé délce nosného lana stejné velikosti.

V ocelovém laně průměru 5 mm bylo (utahováním matice 37, viz obr. 4) vyvozeno osově zatížení  $T_G$  [kg] (osová síla  $T$  [N]) dané velikosti. Vyvozená velikost osového zatížení  $T_G$  [kg] byla jako osová síla  $T$  [N] odečítána z displeje digitálního siloměru 21, viz obr. 7. Časový průběh generované osově síly  $T$  [N] je možno (pomocí software) zaznamenávat do paměti počítače a grafický průběh (osové síly) zobrazovat na monitoru PC v prostředí software dodaného výrobcem digitálního siloměru (Force Logger verze 1.01), viz obr. 7.

Při známé hodnotě osového zatížení  $T_G$  [kg] (tahové síly  $T$  [N]) byly na využitě ocelové lano postupně osazeny snímače RMT-1, SWR a SWK. Utahováním matice 37 byla v nosném

laně vyvozována tahová síla  $T$  [N], která byla snímána dílčími snímači jako tahové zatížení  $T_G$  [kg]. Hodnoty tahové síly  $T$  [N] odečítané z digitálního siloměru i hodnoty osového zatížení  $T_G$  [kg] odečítané z řídicí jednotky OMEGA 806, viz obr. 8, byly zaznamenány do tabulky. Ze zaznamenaných hodnot byly sestrojeny grafy v prostředí Microsoft Excel, viz obr. 9.

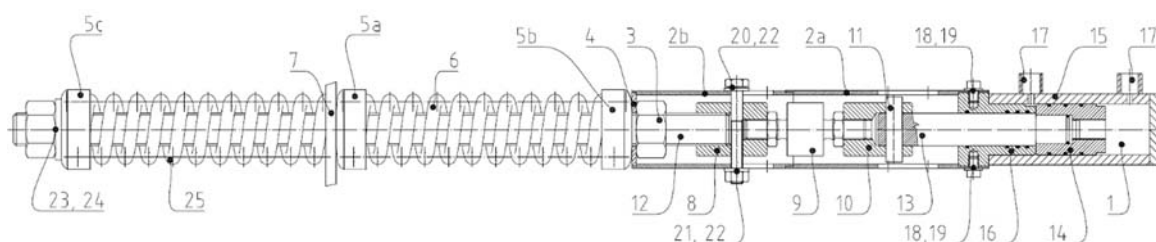


Zdroj: autor

Obr. 9 Grafy závislosti měřených hodnot zatížení  $T_G$  [kg] v nosném laně snímači na lana typu SWR, SWK a RMT-1 na osově tahové síle  $T$  [N]

#### 4. HYDRAULICKÝ VÝROVNÁVAČ TAHOVÝCH SIL V LANECH

Mobilní hydraulický vyrovnávač tahu [8], dle obr. 10, umožňuje přesné vyrovnávání tahových sil mezi dvěma a více nosnými průřezy nosných výtahových lan. V reálném provedení běžné konstrukce elektrického výtahu s třecím kotoučem (viz obr. 11c) je jeden volný konec nosného lana mechanicky spojen s okem závěsného šroubu (viz obr. 11a a obr. 13) pomocí lanových svorek.



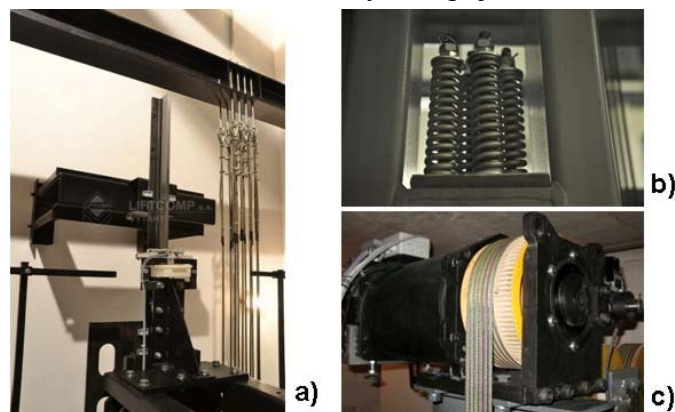
Zdroj: autor

Obr. 10 Konstruktivní návrh mobilního hydraulického vyrovnávače tahu

Závěsný šroub 12, viz obr. 10 a obr. 12, který je opatřen metrickým závitem, prochází otvorem v upínací konzole (na obr. 10, základová deska 7). Závěsný šroub dále nad horní plochou (dle obr. 10 pravá strana) upínací konzoly prochází skrze misku 7a, do které zapadá jeden konec válcové vinuté tlačné pružiny 6, druhý konec této pružiny je zakryt protilehlou miskou 5b. Nad druhou miskou je šroub osazen podložkou 4 a následně pojištěn vůči vysunutí vlivem zatížení do výtahové šachty pomocí šestihřanné matice 3. Tyto součásti tvoří jeden celek

- závěs nosného ocelového lana. V praxi je nosné lano provlečeno koncovým okem závěsného šroubu (viz obr. 10) skrze očnici a zajištěno lanovými svorkami.

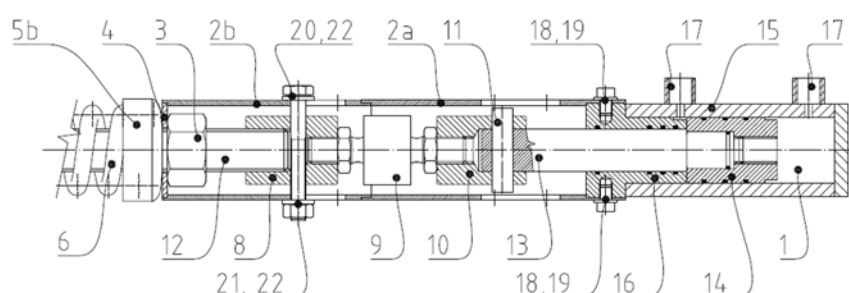
Hlavními částmi popisovaného zařízení, viz obr. 9, jsou dvojčinný přímočarý hydromotor 1, vnější válcové těleso vyrovnávače tahových sil 2 a vnitřní těleso, které je sestaveno ze spojovacího dílu 8, tenzometrického snímače síly 9 a spojovacího dílu 10.



Zdroj: autor

Obr. 11 Prvky a komponenty kotvící volné konce nosných lan u elektrického výtahu

Dvojčinný přímočarý hydromotor 1 (viz obr. 10 a obr. 12) se skládá z pístnice 14, pístu 15, tělesa hydromotoru 16 a čelní příruby 17. Čelní příruba 17 je opatřena čtyřmi otvory s vnitřním závitem M5, jejichž osy jsou kolmé k podélné ose tělesa hydromotoru 16.



Zdroj: autor

Obr. 12 Detailní pohled na konstrukční návrh mobilního hydraulického vyrovnávače tahu

Vnější válcové těleso vyrovnávače 2, se skládá ze dvou rozpojitelných částí a to dolního 2b a horního dílu 2a. Dolní díl 2b je na jedné ze stran opatřen vnitřním osazením (viz obr. 12, osazení na levé straně) průměru 36 mm, jímž dosedá na vymezovací podložku 4. Na této straně je také vytvořena drážka (viz obr. 12), která umožňuje ovládání matice 3. Dále tento díl disponuje na svém plášti eliptickými drážkami, pro omezení maximálního zasunutí pístnice hydromotoru 13 do těla 15. Toto omezení zajišťuje šroub 18, který prochází zmíněnými drážkami v tělese 2b a průběžným otvorem v závitovém dílu 8 a následně je pojištěn maticí 21 a podložkami 22. Díl 2b zakončuje vnější osazení průměru 36 mm, které slouží k zasunutí opačného vnitřního osazení v horním dílu 2a tělesa vyrovnávače. Eliptický výřez v dolní části horního dílu 2a slouží k přístupu k tenzometrickému snímači 9 a zároveň umožňuje vedení datového výstupu snímače ve vertikálním směru. Následné dvě protilehlé eliptické drážky slouží k montáži opěrného čepu 11. Horní osazení horní části tělesa 2a slouží k zapření příruby

17 hydromotoru 1. V tomto osazení jsou vytvořeny čtyři vodorovné eliptické drážky určené k zajištění vzájemné polohy hydromotoru 1 a tělesa vyrovnávače 2 prostřednictvím šroubů 19 podložek 18.

Vnitřní těleso tvoří tři vzájemně mechanicky propojené komponenty. Prvním komponentem je závitový spojovací díl 8, který je z jedné strany opatřen vnitřním otvorem s metrickým závitem M16 a z druhé strany vnitřním otvorem s metrickým závitem M10. Do vnitřního závitu M16 spojovacího dílu 8 je našroubován závěsný šroub (viz obr. 7, závitová tyč 13) a do vnitřního závitu M10 je našroubován tenzometrický snímač 9, jenž je druhým komponentem vnitřního tělesa. Třetím komponentem je spojovací díl 10, který je rovněž z jedné strany opatřen vnitřním otvorem s metrickým závitem M10, do kterého je našroubován vnější závit tenzometrického snímače 9 a ze strany druhé vnitřním otvorem s válcovou dírou průměru 16 mm. Do vnitřní otvor průměru 16 mm spojovacího dílu 10 je zasunuta koncová část pístnice 13, se kterou je spojovací díl 10 mechanicky spojen pomocí opěrného čepu 11, jenž prochází pístnicí 13 i spojovacím dílem 10 skrze kolmo situované průběžné otvory vůči podélné ose hydraulického vyrovnávače.



Zdroj: autor

Obr. 13 Závěsný šroub k uchycení nosného lana a pro instalaci hydraulického vyrovnávače tahu

Vinutá válcová pružina 6, viz obr. 10, je z obou stran sevřena miskami 5a a 5b. Miska 5a ve spodní části závěsu opírá o základovou desku 7. Na protilehlé straně základové desky 7 se opírá vinutá válcová pružina 25, druhý konec je uložen v misce 5c. Miska 5c je provlečena skrze závitovou tyč 12 a vůči uvolnění pojištěna maticí 23 a podložkou 24.

Popis činnosti mobilního hydraulického vyrovnávače tahu: v konstrukčním provedení mobilního hydraulického vyrovnávače tahu, viz obr. 10, závitová tyč 12 simuluje závěsný šroub. Tahová síla, která působí v ose závěsného šroubu (tato síla je v praxi vyvozována poměrným rozložením zatížení hmotnosti kabiny či protizávaží do jednotlivých nosných lan) je vyvozována v ose závitové tyče 12 pomocí tlačné vinuté pružiny 25 (v deformovaném stavu). Požadovanou sílu v tlačné pružině 25 lze nastavit prostřednictvím matice 23. V okamžiku dosažení požadované osově síly v jedné závitové tyči 12 je obdobným způsobem vyvozena tahová síla, rozdílné velikosti, v ose druhé závitové tyči 12, viz obr. 14.

Tahové síly vyvozené v jednotlivých závitových tyčích 12, které jsou vyvozovány předepnutím vinutých tlačných pružin 25, jsou snímány tenzometrickými snímači tlakové síly 9. Snímač 9 je spojen se závitovou tyčí 12 závitovým spojovacím dílem 8 a s pístnicí hydromotoru 13 prostřednictvím spojovacího dílu 10 a opěrného čepu 11.

Přivedením tlakové hydraulické kapaliny skrze hrdlo hydromotoru 17 (viz levé hrdlo 17 na obr. 10 a obr. 12) pod píst 14 hydromotoru 1 se začne pístnice hydromotoru 13 zasouvat do tělesa hydromotoru 15. V důsledku tohoto se začne zkracovat vzdálenost mezi spojovacím

dílem 10 a přírubou hydromotoru 16, jelikož jsou komponenty 10 a 16 vzájemně mechanicky propojeny opěrným čepem 11.

Následně se tímto začne příruba hydromotoru 16 přitlačovat k osazení v tělese vyrovnávače 2a a skrze podložku 4 zapadající do osazení v dolní části tělesa vyrovnávače 2b se oddaluje miska 5b, tímto současně dochází ke stlačování tlačné pružiny 6. Průběh tahové síly, která vzniká ve vnitřním tělese vyrovnávače, jako reakce k síle potřebné ke stlačení pružiny 6 je snímán tenzometrickým snímačem 9. V určité fázi dochází k dosednutí šroubu 20 ke konci drážky v tělese 2b, tímto se je omezeno stlačení pružiny 6 na 15 mm.

Pracovní prostory přímočarých hydromotorů 1 obou vyrovnávačů tahu, které jsou spojeny se závitovou tyčí 12 (v praxi na závěsném šroubu) prostřednictvím vnitřního tělesa vyrovnávače a opírají svými přírubami 16 skrze vnější válcové těleso 2 o podložku 4 nad miskou 7b, viz obr. 10, jsou vzájemně propojeny spolu s generátorem tlakové energie (ruční pumpa) pomocí hydraulické soustavy.



Zdroj: autor

Obr. 14 Realizace standu mobilního hydraulického vyrovnávače tahu

Po natlakování válců generátorem tlakové energie skrze hrdlo hydromotoru 17 se na základě Pascalova zákona podle různě působících tahových sil v jednotlivých průřezech lan v důsledku nestejného rozložení zátěže a shodných průřezových ploch, na které ve válcích působí tlaková energie, začne vzdalovat miska 5b (výše popsaným způsobem) a tímto se posléze deformuje tlačná vinutá pružina 6, přičemž se tlačné vinuté pružiny 6 deformují na jednotlivých závěsech o různou délku, vlivem nestejně nastavenému předpětí vinutými pružinami 25. Snímáním hodnoty působící tlakové síly snímačem 9, lze sledovat průběh a ověřit správné vyrovnání tahových sil v závitových tyčích 12 (v praxi na závěsných šroubech) jednotlivých závěsů.

Po vyrovnání tahových sil (předepnutí jednotlivých tlačných vinutých pružin 25) lze utažením (či uvolněním) matice 3, která je umístěna nad miskou 5b a vymešovacím podložkou 4 zafixovat stlačenou či uvolněnou tlačnou pružinu 6 v požadovaném stavu.

## 5. ZÁVĚR

V příspěvku je v kapitole 2 popisován konstrukční návrh realizovaného zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení, které umožňuje na dvou standech nepřímou

metodou měřit hodnoty zatížení v nosném laně  $T_G$  [kg] pomocí snímačů na lana typu SWR, SWK a RNT-1 a skutečnou osovou tahovou sílu  $T$  [N] pomocí digitálního siloměru.

V kapitole 3 je nastíněn postup a jsou v ní na obr. 9 uvedeny výsledky měřených hodnot zatížení v nosném laně  $T_G$  [kg], které byly získány snímači na lana typu SWR, SWK a RMT-1.

Kapitola 4 pojednává o dříve realizovaném zařízení (blíže viz [8]), tzv. mobilním hydraulickým vyrovnávači tahu, které dokáže snímat přímou metodou osovou tahovou sílu vyvozenou v nosném laně a které umožňuje rovnoměrně rozložit působící zatížení do daného počtu využitých nosných výtahových lan.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Studentské grantové soutěže, SP2018/110 „Výzkum a vývoj v oblasti dopravy“, SV3428812 „Vývoj, výzkum a realizace zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení“.

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) VANĚK, V., JAROŠ, F., DVOŘÁK, J.: ČSN EN 81-20 - *Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Výtahy pro dopravu osob a nákladů - Část 20: Výtahy pro dopravu osob a osob a nákladů*. ČSN, 2015.
- (2) ČSN EN 81-50 - *Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Přezkoušení a zkoušky - Část 50: Konstrukční zásady, výpočty, přezkoušení a zkoušky výtahových komponent*. ČSN, 2015.
- (3) <http://www.liftecgroup.com/lana.html>
- (4) <http://www.dinacell.com/catalogos/Cat.%20Ascensor%202017%20Eng%20GN77-A00.pdf>
- (5) HRABOVSKÝ, L., SMETANA, P.: *Zařízení ke snímání tahových sil v lanech*. Evidenční formulář ke kategorii výsledku Funkční vzorek s ev. č: 019/24-04-2018\_F. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2018.
- (6) HRABOVSKÝ, L., URBANOVÁ, K.: *Zařízení pro snímání osových sil v lanech zdvihacích zařízení*. Evidenční formulář ke kategorii výsledku Funkční vzorek s ev. č: 021/14-05-2018\_F. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2018.
- (7) HRABOVSKÝ, L., STŘÍPEK, M.: *Zařízení detekující osově síly v lanech*. Evidenční formulář ke kategorii výsledku Funkční vzorek s ev. č: 020/30-05-2018\_F. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2018.
- (8) HRABOVSKÝ, L., BOBOK, J.: *Mobilní hydraulický vyrovnávač tahu*. Průmyslový vzor 36754. ÚPV-ČR, 2016.