

LYNO IŠORINIAME SLUOKSNYJE NUTRŪKUSIŲ VIELŲ TYRIMAS, TAIKANT DINAMINĮ METODĄ

Ernestas Šutinys¹, Vytautas Bučinskas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹ernestas.sutinys@vgtu.lt; ²vytautas.bucinskas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnis skirtas mokslinių tyrimų galimybės atskleisti. Naudojant dinamines savybes, bandyta aptikti nutrūkusias vielas ant įtempto plieninio lyno ir ant plieninio lyno gabaliuko rasti nutrūkusią vielą, kai šis lyno gabaliukas mechaniškai tvirtinamas ant plieninio lyno specialiaje bandymų stende. Eksperimentinių tyrimų metu buvo išmatuotos plieninio lyno ir ant įtempto plieninio lyno nutrūkusios vielos dinaminės savybės priklausomai nuo lyno žadinimo dažnio, taip pat įvertinant įtempto plieninio lyno dinamines savybes, pritvirtinus ant jo papildomą svorį. Pateikiami tyrimų rezultatai ir išvados.

Reikšminiai žodžiai: plieninis lynas, defektai, diagnostika, poslinkio amplitudė.

Įvadas

Plieninis lynas – lankstus nehomogeninės mechaninės sistemos elementas, skirtas kėlimo mašinose kroviniams ir keleiviams kelti (Costello 1997). Jų išilginis elastingumas sušvelnina darbo metu pasitaikančius smūgius. Plieninių lynų patikimumas darbo metu pasireiškia tuo, kad jie ne-nutrūksta staiga, o pradeda trūkinėti atskiros vielos.

Plieniniai lynai suvejami į lyno vijas iš aukštos kokybės plonų 0,2–2 mm storio plieninių vielų, o vijos suvejamos į lyną (1 pav.) (Basak *et al.* 2008a, 2008b, 2009a).

Plieniniai lynai iš suvytų plieninių vielų naudojami daugelyje sričių: kranuose, architektūriniuose objektuose, tiltų statyboje, konvejerių juostose, kalnakasyboje, naftos ir dujų, žvejybos ir jūrų, miškų ir komunikacijų srityse, slidinėjimo keltuvuose, kariniuose jūrų laivynuose, liftuose, funikulieriuose ir kituose įrenginiuose tokiems kroviniams ir žmonėms kelti, kai lynų trūkis yra ypač pavojingas. Dėl to lynų kokybės stipriai yra keliami dideli reikalavimai. Vienas iš pagrindinių kokybės reikalavimų yra vielų, iš

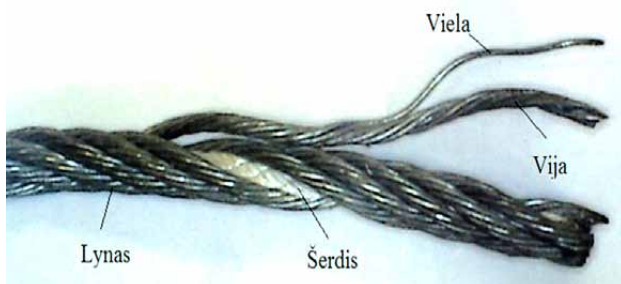
kurių suvytas lynas, vientisumas, nutrūkusių vielų nebuvimas, nes nutrūkusios vielos silpnina lyną, ir jis tampa pažeidžiamas, sutrinka lyno eksploatacija.

Plieniniams lynams kontaktuojant su skriemuliais, kitu lynu, su metaliniu ar nemetaliniu paviršiumi, turinčiu aštrias briaunas, atsiranda įvairūs lynų defektai:

- mechaninis dilimas;
- lenkimo nuovargio įtrūkis;
- korozija;
- lynų tempimo perkrovos įtrūkis;
- vienos ar kelių vielų nutrūkimas;
- nutrūkusio lyno vija;
- vienos ar kelių vielų atsipalaidavimas;
- lyno užlaužimas;
- kiti defektai (Bučinskas *et al.* 2010, 2011).

Nepastebėti plieninių lynų defektai gali sukelti katastrofas ir padaryti didelių nuostolių turtui bei gyvybei. Lyno saugumui užtikrinti būtina itin griežta priežiūra.

Kėlimo mechanizmuose naudojami lynai periodiškai tikrinami. Vizualinis patikros metodas yra paprasčiausias plieninių lynų nekontaktinis metodas (NDE), taikomas nutrūkusioms vieloms lyno išoriniame sluoksnyje aptikti (Basak *et al.* 2009b; Sumyong *et al.* 2007). Taip pat plačiai plieninių lynų defektams aptikti naudojami sūkurinių srovių ir magnetinių laukų metodai. Taikant šiuos metodus, ne visada aptinkamos visos nutrūkusios vielos nešvaraus lyno išoriniame sluoksnyje. Siūlomas naujas lynų diagnostikos metodas (nutrūkusias vielas aptikti lyno išoriniame sluoksnyje), pagrįstas dinaminio metodu.



1 pav. Plieninis lynas

Fig. 1. Wire rope

Lyno diagnostika, taikant dinaminį metodą

Yra keletas prielaidų plieninių lynų diagnostikai įgyvendinti, taikant dinaminį metodą. Šiame darbe, taikant diagnostikos parametrus, tiriamos švytuojančios nutrūkusios vielos, esančios įtempto lyno paviršiuje. Kai nutrūkusia viela ant įtempto lyno paviršiaus, laikoma, kad ji yra nejudamai įtvirtinta. Taikant šią sąlygą, galima analitiškai nustatyti įvairaus ilgio nutrūkusios vielos savąjį dažnį. Nustačius nutrūkusios vielos savųjų virpesių dažnį, kuris atitiktų natūralią virpesių formą (pirmąją modą), nutrūkusios vielos amplitudė būtų didžiausia, o dažnis – žemiausias.

Nejudamai įtvirtintos nutrūkusios vielos savasis dažnis (pirmosios nutrūkusios vielos virpesių forma) apskaičiuojamas pagal (1) formulę (Piersol, Paez 2010):

$$\omega = \frac{\mu}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho F}}, \quad (1)$$

čia dydis ω – kampinis dažnis; $\mu = 3,52$ – pirmosios virpesių formos savojo dažnio koeficientas; l – nutrūkusios vielos ilgis; $E = 205 \cdot 10^9$, Pa – Jungo modulis; $I = 2,285 \cdot 10^{-16}$, m⁴ – nutrūkusios vielos inercijos momentas; $\rho = 7850$, kg/m³ – medžiagos tankis; $F = 5,31 \cdot 10^{-8}$, m² – nutrūkusios vielos skerspjūvio plotas.

Kadangi lynas turi savitą formą, tai nutrūkusios vielos ilgis lyno paviršiuje apibrėžiamas vielos žingsnio ilgiu viename lyno vijos žingsnyje. Mūsų tiriamojo 4 mm skersmens lyno vielos vijos vienas žingsnis – 16 mm. Jei lyno skersmuo 4 mm, jo paviršiuje dažniausiai būna 5–12 mm ilgio nutrūkusios vielos. Šių nutrūkusių vielų ilgių savieji dažniai pateikti 1 lentelėje.

Apskaičiuoti dažniai buvo naudojami siekiant aptikti nutrūkusios vielos rezonansinius dažnius eksperimentinių tyrimų metu.

1 lentelė. Nutrūkusių vielų savieji dažniai

Table 1. Natural frequencies of broken wires

Ilgis l , mm	Kampinis dažnis ω , 1/s	Dažnis f , Hz
5	4,72 E + 04	7,52 E + 03
6	3,28 E + 04	5,22 E + 03
7	2,41 E + 04	3,84 E + 03
8	1,84 E + 04	2,93 E + 03
9	1,46 E + 04	2,32 E + 03
10	1,18 E + 04	1,88 E + 03
11	9,78 E + 03	1,56 E + 03
12	8,22 E + 03	1,31 E + 03

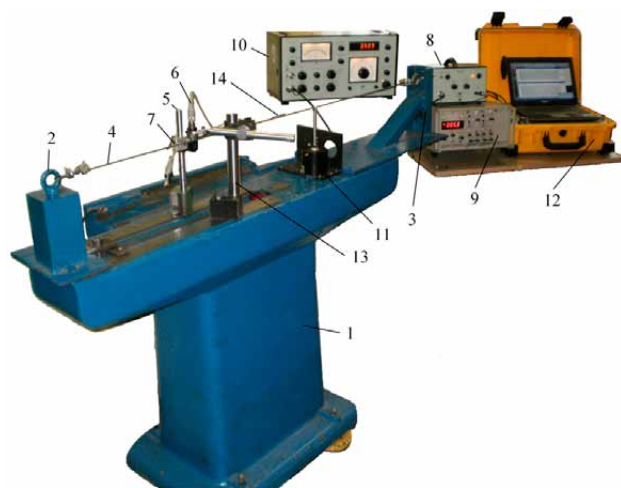
Eksperimentinių bandymų aprašymas

Esant lyno išoriniame sluoksnyje nutrūkusiai vielai, ne visada nutrūkusios vielos pašaknis būna nejudamai įtvirtintas. Taikant naują sukurtą neardomosios plieninių lynų kokybės kontrolės metodą, buvo matuojamos įtempto lyno, ant

įtempto lyno nutrūkusios vielos ir ant įtempto lyno mechaniškai pritvirtinto neįtempto lyno fragmento su nutrūkusia viela virpesių poslinkių amplitudės visame dažnių intervale. Šio tyrimo tikslas – nustatyti nutrūkusios vielos pašaknio įtvirtinimo įtaką jos savųjų virpesių dažniui ir ištirti, kiek vielos savieji virpesiai skiriasi nuo lyno savųjų virpesių.

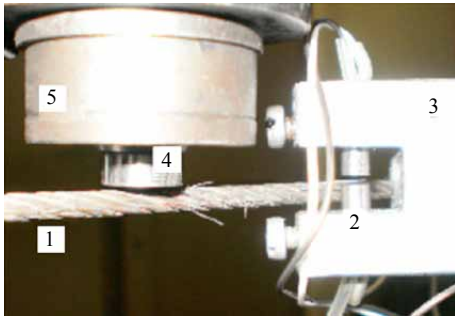
Tyrimai buvo atliekami naudojant stendą, kurio vaizdas pateiktas 2 pav.

Buvo tiriamas 4 mm skersmens ir 1350 mm ilgio 5 kN ašine jėga įtempto plieninio lyno fragmentas su išoriniame jo sluoksnyje nutrūkusiomis vielomis ir ant tiriamojo lyno fragmento, 495 mm atstumu nuo kairiojo lyno laikiklio, nejudamai pritvirtinto 4 mm skersmens ir 50 mm ilgio lyno fragmentas su 10 mm ilgio nutrūkusia viela. Lynas buvo žadinamas statmenai įtempto lyno ašiai vibratoriumi, kuris buvo nutolęs 755 mm atstumu nuo kairiojo lyno laikiklio, ir palaikoma jo pastovi 50 μ m virpesių poslinkio amplitudė. Lyno ir nutrūkusios vielos virpesiai buvo matuojami poslinkių jutikliais, kurie buvo nutolę 350 mm ir 320 mm atstumu nuo kairiojo lyno laikiklio. Lyno ir nutrūkusios vielos matavimo vaizdas pateiktas 3 pav.



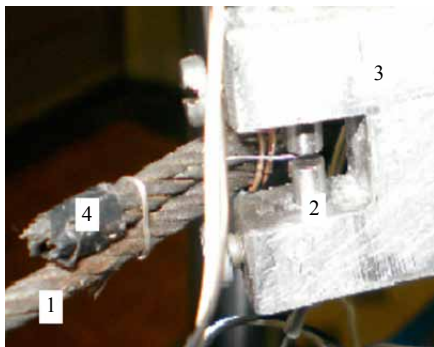
2 pav. Lyno su nutrūkusiomis vielomis virpesių matavimo stendas: 1 – stovas; 2, 3 – lyno laikikliai; 4 – lynas; 5 – keitiklio Tr4 laikiklis; 6 – linijinis keitiklis *Hottiger* Tr102; 7 – linijinis keitiklis *Hottiger* Tr4; 8 – galios stiprintuvas 2706; 9 – stiprintuvas *Hottiger* KWS 503 D; 10 – generatorius 1027; 11 – elektrodinaminis minivibrostendas 4810; 12 – kilnojamoji matavimų rezultatų apdorojimo įranga *Machine Diagnostics Toolbox Type 9727* su kompiuteriu DEEL; 13 – keitiklio Tr102 laikiklis; 14 – lyno gabaliukas

Fig. 2. Test rig vibration – measuring diagram of wire rope with broken wire: 1 – test rig body; 2 and 3 – rope supports; 4 – wire rope; 5 – sensor Tr4 frame; 6 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr102; 7 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr4; 8 – exciter amplifier 2706; 9 – amplifier *Hottiger* KWS 503 D; 10 – generator for electro dynamic mini exciter type 1027; 11 – electro dynamic mini exciter type 4810; 12 – the portable measurement results processing station *Machine Diagnostics Toolbox Type 9727* with laptop DEEL; 13 – sensor Tr102 frame; 14 – piece of wire rope



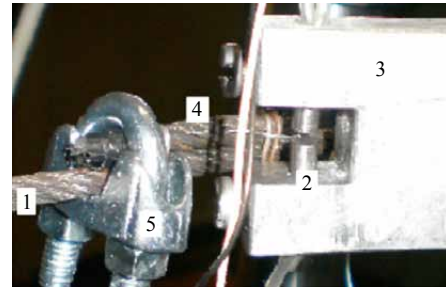
3 pav. Lyno ir nutrūkusios vielos poslinkių matavimas:
1 – lynas; 2 – linijinis poslinkių keitiklis *Hottiger* Tr4;
3 – keitiklio *Hottiger* Tr4 laikiklis; 4 – linijinis poslinkių keitiklis *Hottiger* Tr102; 5 – keitiklio *Hottiger* Tr102 laikiklis
Fig. 3. Displacement measurement of wire rope and broken wire: 1 – wire rope; 2 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr4; 3 – sensor Tr4 frame; 4 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr102; 5 – sensor Tr102 frame

Tyrimai buvo atliekami dviem etapais. Pirmajame etape buvo matuojama įtempto lyno fragmento, ant įtempto lyno fragmento nutrūkusios vielos ir ant lyno gabaliuko nutrūkusios vielos poslinkio amplitudės, kai 50 mm ilgio lyno gabaliukas buvo mechaniškai pritvirtintas ant įtempto lyno fragmento su viela. Lyno ir ant lyno nutrūkusios vielos virpesių poslinkio amplitudės matavimo vaizdas pateiktas 4 pav.



4 pav. Nutrūkusios vielos virpesių poslinkių matavimo ant lyno gabaliuko pritvirtinto ant lyno su viela vaizdas: 1 – lynas; 2 – linijinis poslinkių keitiklis *Hottiger* Tr4; 3 – keitiklio *Hottiger* Tr4 laikiklis; 4 – lyno gabaliukas
Fig. 4. Displacement measurement of broken wire on the piece of wire rope which is affixed by wire on the wire rope: 1 – wire rope; 2 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr4; 3 – sensor Tr4 frame; 4 – piece of wire rope

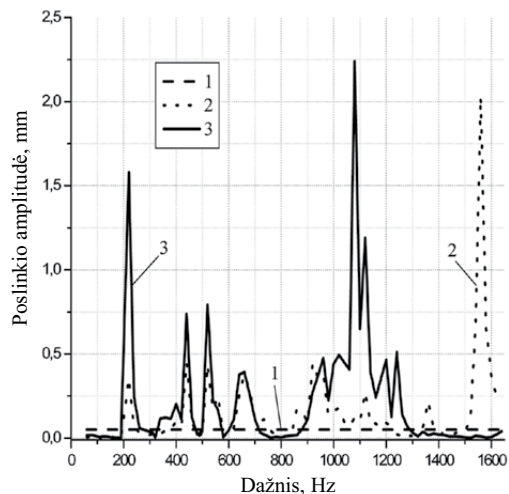
Antrajame etape buvo matuojama įtempto lyno fragmento, ant įtempto lyno fragmento nutrūkusios vielos ir ant lyno gabaliuko nutrūkusios vielos virpesių poslinkių amplitudės, kai 50 mm ilgio lyno gabaliukas buvo mechaniškai pritvirtintas ant įtempto lyno fragmento su apkaba. Lyno ir ant lyno nutrūkusios vielos virpesių poslinkio amplitudės matavimo vaizdas pateiktas 3 pav., o nutrūkusios



5 pav. Nutrūkusios vielos virpesių poslinkių matavimas ant lyno gabaliuko, pritvirtinto ant lyno su apkaba, vaizdas: 1 – lynas; 2 – linijinis poslinkių keitiklis *Hottiger* Tr4; 3 – keitiklio *Hottiger* Tr4 laikiklis; 4 – lyno gabaliukas; 5 – apkaba
Fig. 5. Displacement measurement of broken wire on the piece of wire rope which is affixed by clamp on the wire rope: 1 – wire rope; 2 – linear displacement transducer *Hottiger* Tr4; 3 – sensor Tr4 frame; 4 – piece of wire rope; 5 – clamp

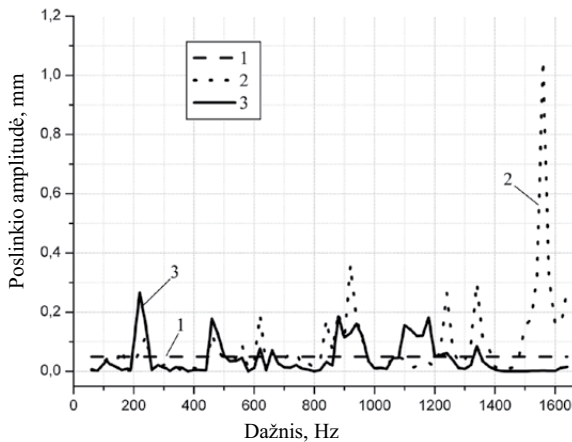
vielos virpesių poslinkių matavimas ant lyno gabaliuko, mechaniškai pritvirtinto ant įtempto lyno fragmento su apkaba, vaizdas pateiktas 5 pav.

Gauti tyrimo duomenys buvo apdoroti specialia programine įranga. Gautos nutrūkusios vielos, esančios ant įtempto lyno, ir ant įtempto lyno mechaniškai su viela pritvirtinto lyno gabaliuko nutrūkusios vielos poslinkių amplitudžių priklausomybės nuo įtempto lyno žadinimo dažnio, žadinant lyną pastovia amplitude, grafiškai pateiktos 6 pav. Padidinus masę (kai lyno gabaliukas ant įtempto lyno pritvirtintas su apkaba), gautos poslinkių amplitudžių priklausomybės nuo įtempto lyno žadinimo dažnio rezultatai pateikti 7 pav.



6 pav. Tyrimų rezultatai, kai lyno gabaliukas ant ištempto lyno pritvirtintas su viela: 1 – lyno; 2 – vielos ant įtempto lyno; 3 – vielos ant lyno gabaliuko

Fig. 6. Dependency of the displacement amplitude from frequency of broken wire on the wire rope and on the piece of wire rope, which is affixed, by wire on the wire rope: 1 – wire rope; 2 – wire; 3 – wire on a piece of wire rope



7 pav. Tyrimų rezultatas, kai lyno gabaliukas ant ištempto lyno pritvirtintas su apkaba: 1 – lyno; 2 – vielos ant įtempto lyno; 3 – vielos ant lyno gabaliuko

Fig. 7. Dependency of the displacement amplitude from frequency of broken wire on the wire rope and on the piece of wire rope, which is affixed by clamp on the wire rope: 1 – wire rope, 2 – wire, 3 – wire on a piece of wire rope

6 ir 7 pav. grafikų pradžiose stebimi nutrūkusių vielų poslinkio amplitudžių pikai, esant 220 Hz dažniui. Tai galima paaiškinti kaip visos tiriamosios sistemos (viso stendo) sukeltus žadinimo virpesius.

Išvados

Atlikti eksperimentiniai mechanškai ant įtempto 4 mm skersmens lyno fragmento pritvirtinto neįtempto 4 mm skersmens lyno gabaliuko nutrūkusios vielos tyrimai. Iš tyrimo rezultatų (6 ir 7 pav.) matyti, kad ant neįtempto lyno gabaliuko esanti nutrūkusia viela yra sužadinama.

Gauti rezultatai rodo, kad tiriamasis įtemptas 4 mm skersmens lyno fragmentas turi didelę įtaką nutrūkusios vielos rezonansiniam virpesių dažniui. Dinaminės sistemos „nutrūkusia viela – lynas“ slopinimas yra mažas, todėl, esant rezonansiniam dažniui, nutrūkusios vielos amplitudė siekia 2,01 mm, esant žadinimo amplitudei, – 50 μm .

Atlikti eksperimentiniai tyrimai ir gauti rezultatai rodo, kad ant įtempto lyno fragmento pritvirtintas papildomas svoris, kuris imituoja lyno paviršiaus padengimą tepalu ir purvu, turi didelę įtaką nutrūkusių vielų virpesių poslinkio amplitudei – kuo didesnis svoris pritvirtinamas ant įtempto lyno fragmento, tuo mažesnė nutrūkusių vielų virpesių poslinkio amplitudė, jei įtemptas lyno fragmentas virpinamas pastoviai 50 μm amplitude.

Ant įtempto 4 mm skersmens tiriamojo lyno yra mechanškai su viela pritvirtintas 50 mm ilgio ir 4 mm skersmens lyno gabaliukas su nutrūkusia 10 mm ilgio viela.

Nutrūkusios vielos ant 50 mm ilgio gabaliuko poslinkio amplitudė tris kartus didesnė, esant 450 Hz, ir penkiolika kartų didesnė, esant 1090 Hz, nei 50 mm ilgio lyno gabaliuko, pritvirtinto ant lyno su apkaba.

Literatūra

- Basak, D.; Pal, S.; Patranabis, D. C. 2008a. In – situ non – destructive assessment of a haulage rope in a monocable zigback passenger ropeway, *International Journal of Nondestructive Testing* 50: 136–137.
- Basak, D.; Pal, S.; Patranabis, D. C. 2008b. Nondestructive evaluation of haulage rope in a monocable continuously moving passenger ropeway, *International Journal of Non-destructive Testing* 50: 156–157.
- Basak, D.; Pal, S.; Patranabis, D. C. 2009a. Inspection of 6X19 seale preformed haulage rope by nondestructive technique, *Russian Journal of Nondestructive Testing* 45: 143–147. <http://dx.doi.org/10.1134/S1061830909020090>
- Basak, D.; Pal, S.; Patranabis, D. C. 2009b. Nondestructive evaluation of a 6X25 FW haulage rope in a monocable continuously moving passenger cable car installation, *IACSIT International Journal of Engineering and Technology* 1: 486–490. <http://dx.doi.org/10.7763/IJET.2009.V1.89>
- Bučinskas, V.; Šutinys, E.; Augustaitis, V. K. 2011. Experimental research of steel rope integrity problem, *Journal of Vibroengineering* 13(2): 312–318.
- Bučinskas, V.; Šutinys, E.; Kilikevičius, A. 2010. Experimental research of steel rope dynamic properties, *Journal of Vibroengineering* 12(4): 676–682.
- Costello, G. A. 1997. Theory of wire rope. *Mechanical engineering series*. Second edition. Springer, 128. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-1970-5>
- Piersol, A. G.; Paez, Th. L. 2010. *Harris' shock and vibration handbook*. McGraw-Hill.
- Sumyong, N.; Prateepasen, A.; Kaewtrakulpong, P. 2007. Influence of Scanning Velocity and Gap Distance on Magnetic Flux Leakage Measurement, *Journal of Electronics and Communications* 5: 118–122.

RESEARCH OF BROKEN WIRE ON THE ROPE SURFACE USING DYNAMIC METHOD

E. Šutinys, V. Bučinskas

Abstract

This paper is intended to reveal possibilities to research of broken wire on the wire ropes using dynamic properties of tensed wire rope and research properties of broken wire in piece of wire rope when it is affixed on the wire rope in special test rig. During experimental test wire rope and broken wire on the tensed wire rope dynamic properties was estimated depending on excitation frequency, also including affixed weight on the tensed wire rope dynamic properties. Finally, results are given and conclusions are made.

Keywords: wire rope, defects, diagnostics, displacement amplitude.