

LINIJINIO TRANSPORTERIO VIBRACIJŲ PRIKLAUSOMYBĖ NUO JUOSTOS TIPO

Nerijus KYBARTAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: nerijus.kybartas@vdu.lt

Eglė JOTAUTIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: egle.jotautiene@vdu.lt

Antanas JUOSTAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: antanas.juostas@vdu.lt

Santrauka

Darbo tikslas – įvertinti linijinio transporterio vibracijų priklausomybę nuo juostos tipo, nustatant juostos būklės įtaką konstrukcijos dinaminiam atsakui. Tyrimo metu atlikti eksperimentiniai matavimai naudojant „Brüel & Kjær“ virpesių matavimo ir „PULSE“ analizės programinę įrangą. Duomenys apdoroti taikant autospektrinės (FFT), pagreičio gaubiančios metodo ir keprstinės analizės.

Tirta linijinio transporterio vibracijos, kai buvo eksploatuojama naudota, nauja ir po metų eksploatacijos buvusi juosta. Ištirtas atvejis, kai transporteris veikė kartu su visa transporterių sistema. Rezultatai parodė, kad nauja juosta mažina žemo dažnio impulsus ir virpesių energiją, o juostos eksploatacijos didėjimo metu virpesių amplitudės palaipsniui didėja taip pat. Nustatyta, kad transporterių sistemos veikimas sukelia papildomus žemo dažnio virpesius, tačiau jie neviršija leistinų ribų.

Reikšminiai žodžiai: transporteris, vibracija, juostos techninė būklė.

Įvadas

Transportavimo sistemos plačiai taikomos įvairiose pramonės srityse – nuo logistikos ir maisto pramonės iki gamybos automatizavimo. Patikimas šių sistemų darbas priklauso ne tik nuo konstrukcijos elementų mechaninės būklės, bet ir nuo dinaminio stabilumo, kurį lemia virpesių lygis bei jų pasiskirstymas konstrukcijoje. Vibracijų analizė leidžia vertinti įrenginio techninę būklę, nustatyti gedimų požymius bei užtikrinti efektyvų ir saugų darbo režimą.

Linijiniame transporteryje juosta yra vienas svarbiausių sistemos elementų, kuri tiesiogiai sąveikauja su varančiais būgnais ir atramomis. Dėl šios priežasties jos techninė būklė, paviršiaus nelygumai ar nusidėvėjimas gali sukelti papildomas dinamines apkrovas, didinti vibracijų amplitudę ir trumpinti eksploatacijos laiką. Transporterio paleidimo metu juostos pagreičio pokyčiai daro didžiausią įtaką juostos dinaminėms savybėms (Yang, 2014). Mokslininkai ištyrė, kad prognozuoti dinaminius parametrus įvairiais darbo režimais yra svarbu transportavimo sistemoms (Pang & Lodewijks, 2016). Būtina kompleksiskai vertinti transportavimo juostos būklės poveikį transporterio konstrukcijos virpesiams ir nustatyti charakteringus pokyčius.

Tyrimo tikslas – įvertinti linijiniame transporteryje sukeliamų vibracijų priklausomybę nuo juostos tipo ir būklės, siekiant nustatyti konstrukcijos dinaminio atsako pokyčius.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

- Atlikti eksperimentinius linijinio transporterio sukeliamų vibracijų matavimus, naudojant „Brüel & Kjær“ vibroanalizės įrenginį su „PULSE“ analizės sistema.
- Įvertinti vibracijų rodiklius, taikant autospektrinę (FFT), pagreičio gaubiančios ir keprstinės analizės metodikas.

Tyrimų metodika

Eksperimentiniai tyrimai atlikti realiomis darbo sąlygomis.

Tyrimo objektas – linijinio transporterio virpesiai, atsirandantys dėl juostos nusidėvėjimo ir jos greičio.

Hipotezė – dylant transporterio juostai ir kreipiančiosioms, juostos konstrukcijoje atsiranda nelygumų, kuriems judant transporterio kreipiančiąja atsiranda vibracijos.

Transporterio konstrukcija sudaryta iš transporterio varančiosios dalies (juostos ir kreipiančiosios), varančiojo mazgo (velenas, guoliai, reduktorius ir variklis), rėmo konstrukcijos.

Tyrimo metu buvo naudojamas vibroanalizės įrenginys „Brüel & Kjær“ su Pulse programine įranga.

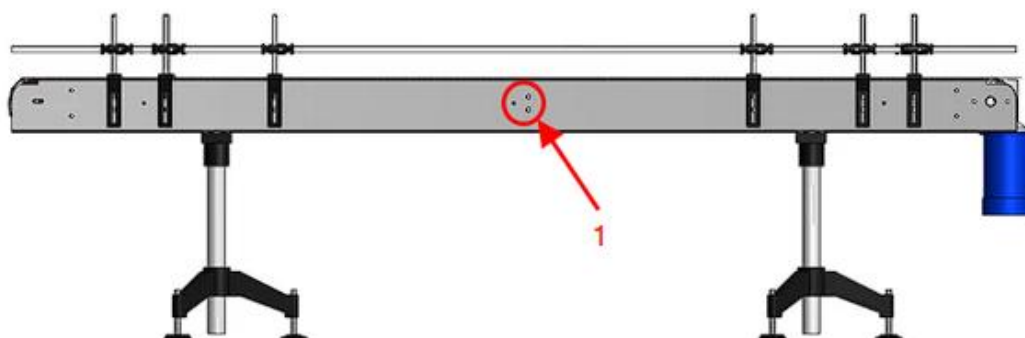


1 pav. Nusidėvėjęs kreipiančiųjų profilis
Fig. 1. Worn guides



2 pav. Nusidėvėjęs kreipiančiosios profilis
Fig. 2. Worn guides

Linijinio transporterio konstrukcija buvo sudaryta iš varančiosios dalies (juosta ir kreipiančiosios), varančiojo mazgo (velenai, guoliai ir variklis); transportuojamo produkto kreipiančiosios; rėmo konstrukcijos.



3 pav. Matavimo schema: 1 – pjezo jutiklio tvirtinimo vieta.
Fig. 3. Measurement schema. 1 – pjezo sensor mounting location.

Pjezo jutiklis pritvirtintas prie metalinių transporterio rėmo paviršių naudojant specialų srieginį adapterį ir tvirtinimo varžtą, užtikrinant gerą kontaktą tarp jutiklio ir konstrukcijos. Tokia padėtis leidžia registruoti vertikaliąsias ir išilgines vibracijas, kurios labiausiai atspindi transporterio darbo metu susidaranti dinaminės apkrovos.

Prieš pradėdant tyrimą, reikia užtikrinti, kad transporteris būtų išjungtas ir saugus eksperimentui atlikti. Patikrinti, ar visi matavimo įrenginiai („Brüel & Kjær“ vibroanalizės įrenginys, duomenų kaupiklis, PULSE programinė įranga) yra tinkamai sujungti ir kalibruoti. Pritvirtinti jutiklį prie transporterio rėmo konstrukcijos. Tvirtinimo vieta parenkama artimiausia juostos sąlyčio zonai, kad būtų užfiksuota tik juostos sukeliama vibracija.

Matavimo trukmė pasirinkta 60 sekundžių kiekvienam greičio ir juostos tipo deriniui. Parinkti transporterio greičio režimai ir juostų tipai.

Eksperimentui atlikti įjungiamas transporteris ir nustatomas darbinis greičio režimas. Virpesių duomenys registruojami PULSE programine įranga. Matavimai kartoti po tris kartus kiekvienam greičio režimui ir juostos tipui, užtikrinant, kad kiekvienas matavimas būtų atliktas identiškomis sąlygomis. Užfiksuoti papildomus veiksniai, tokius kaip aplinkos triukšmas ar vibracijos iš šaltinių, kurie nėra susiję su juosta (jeigu tokie yra). Tokio tipo matavimus galima atlikti taip pat naudojant vibroanalizės įrenginį.

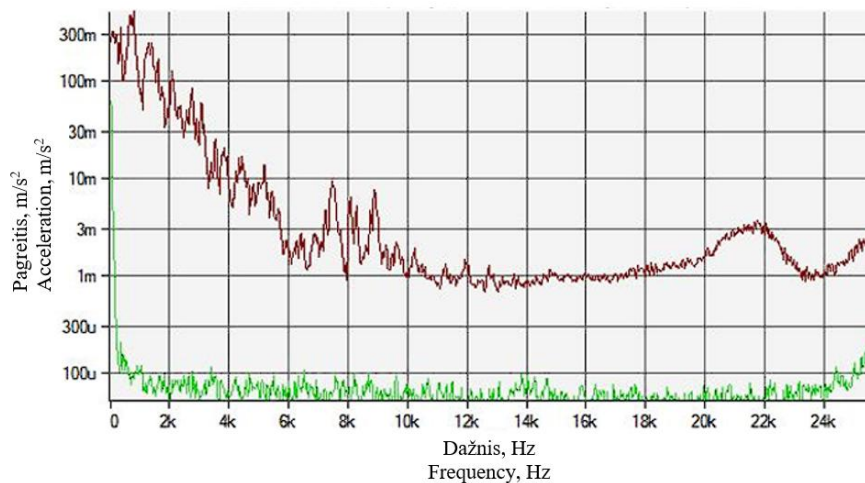
Tyrimo metu matuotas vibracijos pagreitis (m/s^2) bei transporterio greitis (m/s). Duomenys saugoti skaitmeniniu formatu tolesnei analizei. Duomenys eksportuoti iš PULSE įrangos į „Excel“ formatą tolesnei analizei.

Ši tyrimo metodika užtikrins sistemingą ir objektyvų tyrimą, leisdamą nustatyti linijinio transporterio vibracijų priklausomybę nuo juostos tipo ir greičio.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Siekiant įvertinti transporterio juostos techninės būklės įtaką sistemos dinamikai, buvo palyginti naudotos ir naujos juostos vibracijų duomenys.

Autospektrinio greičio tankio palyginimas rodo ryškius skirtumus tarp naudotos ir naujos juostos. Naudotos juostos (ruda linija) spektras turi didelę energijos koncentraciją žemų ir vidutinių dažnių ruože (nuo 0 iki 6 kHz), kur amplitudės siekia dešimtis ar net šimtus m/s^2 . Tai rodo, kad nusidėvėjusi juosta generuoja didesnės energijos smūginius virpesius, atsirandančius dėl sujungimų netolygumų, deformacijų ar paviršiaus nelygumų.



4 pav. Naujos ir naudotos juostos autospekto analizė. Žalia linija – nauja juosta; ruda linija – naudota juosta
Fig. 4. Autospectrum analysis of new and used tape. Green line - new tape; Brown line - used tape

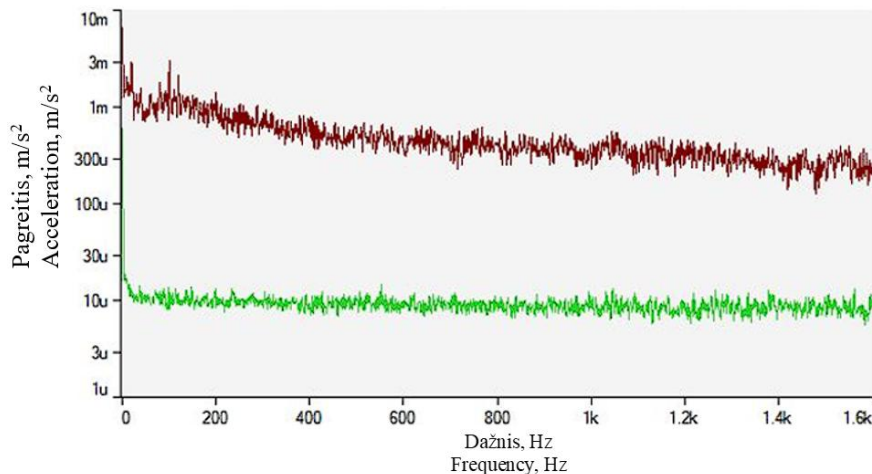
Nuo 6 iki 10 kHz naudotos juostos spektre matomi keli aiškūs periodiškai amplitudės padidėjimai, kurie gali būti susiję su konstrukcijos ar juostos įtempimo pasikartojančiais dažniais.

Tuo tarpu naujos juostos (žalia linija) spektras yra žymiai tolygesnis, o amplitudės mažesnės visame dažnių diapazone. Vibracijos lygis virš 10 kHz išlieka stabilus ir žemas, todėl galima teigti, kad nauja juosta nesukuria konstrukcijos rezonansų ir generuoja tik foninius, tolygius virpesius.

Aukštųjų dažnių srityje (22–25 kHz) abiejų juostų kreivės šiek tiek suartėja, kas rodo, kad ši sritis labiau atspindi sistemos triukšmo foną, o ne konstrukcijos dinaminį atsaką.

Naudotos juostos virpesiai pasižymi aukštesnėmis amplitudėmis ir platesniu virpesių dažnių pasiskirstymu, o nauja juosta užtikrina tolygesnį ir stabilesnį dinaminį atsaką.

Grafike aiškiai matyti, kad naudotos juostos (ruda linija) kreivė turi išreikštą pirmąjį amplitudės padidėjimą iki 200 Hz, o amplitudės reikšmės siekia net kelis m/s^2 . Tai rodo, kad juostoje pasireiškia periodiškai pasikartojantys smūgiai, kylantys dėl juostos paviršiaus defektų ar netolygaus kontakto su varomaisiais mazgais.

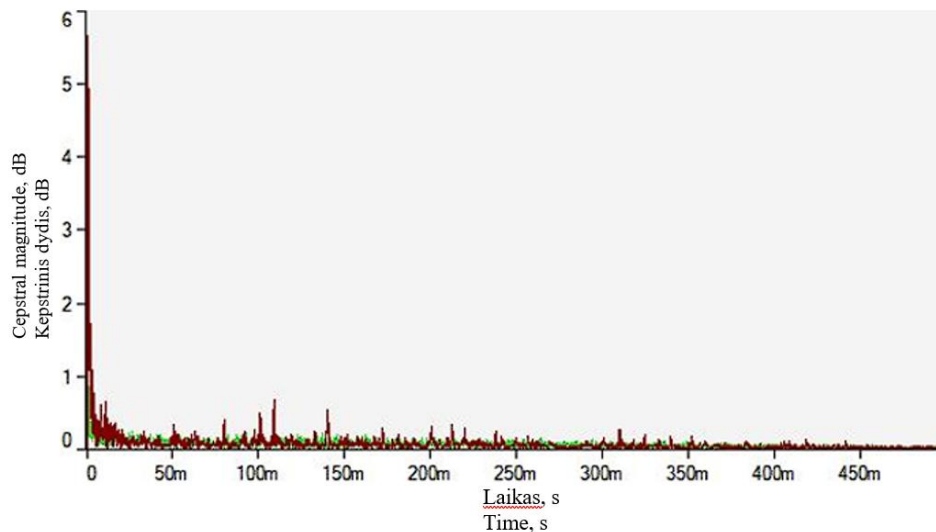


5 pav. Naujos ir naudotos juostos autospekto pagreičio gaubiančios analizė. Žalia linija – nauja juosta; ruda linija – naudota juosta
Fig. 5. Autospectrum acceleration envelope analysis of new and used tape. Green line - new tape; Brown line - used tape.

Tuo tarpu naujos juostos (žalia linija) spektras pasižymi mažesnėmis amplitudėmis visame analizės diapazone (0–1600 Hz). Energijos lygis stabiliai mažėja, o ryškių periodinių smūgių pėdsakų nėra. Tai rodo, kad nauja juosta sukelia tolygų, be smūgių judėjimą, o konstrukcijos kontaktai su juosta vyksta tolygiai ir be pakitimų.

Pagreičio gaubiančios analizė aiškiai parodo naudotos juostos impulsinę elgseną ir naujos juostos dinaminį stabilumą. Periodinių smūgių vibracija sumažėjusi kelis kartus.

Kepstrinė diagrama leidžia įvertinti virpesių periodiškumą laiko srityje. Naudotos juostos (ruda linija) kepstrinės analizės grafike aiškiai matomas didelis padidėjimas ties 20–40 ms bei keli mažesni padidėjimai iki 200 ms. Šie rezultatai rodo, kad sistemoje vyrauja pasikartojantys impulsai, t. y. periodiškai pasireiškiantys smūgiai, kurių pasikartojimo dažnis susijęs su juostos ilgiu ir sujungimų išsidėstymu.



6 pav. Naujos ir naudotos juostos keprstinė analizė. Žalia linija – nauja juosta; ruda linija – naudota juosta
Fig.6. Cepstrum analysis of new and used tape. Green line - new tape; Brown line - used tape.

Naujos juostos (žalia linija) Kepstrinė kreivė yra žymiai lygesnė, be ryškių padidėjimų. Amplitudės iškart po 40 ms staigiai mažėja ir toliau išlieka beveik pastovios. Tai rodo, kad nauja juosta nesukelia periodinių smūgių, o jos paviršius yra tolygus.

Kepstrinė analizė patvirtina, kad naudotos juostos virpesiai turi aiškų periodiškumą, o naujos juostos signalė periodiškumo požymių beveik nėra.

Palyginamoji analizė atskleidė reikšmingus skirtumus tarp naudotos ir naujos konvejerio juostos dinaminės būklės:

- Naudotos juostos virpesiai pasižymi didesnėmis amplitudėmis, aiškiais smūginiais įvykiais ir rezonansiniais dažniais.
- Naujos juostos virpesiai yra tolygesni, amplitudės mažesnės, o spektre dominuoja žemų dažnių foninės komponentės.
- Kepstrinė analizė parodė, kad naudotos juostos virpesiams būdingas periodiškumas, o naujos – stochastiškas, atsitiktinis pobūdis.

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad naujos konvejerio juostos įdiegimas ženkliai sumažina sistemos vibracinį aktyvumą ir eliminuoja periodinius smūginius virpesius, o tai tiesiogiai didina transporterio konstrukcijos ilgaamžiškumą ir darbo stabilumą.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad linijinių transporterių vibracijos dažniausiai kyla dėl juostos ir kreipiančiųjų nusidėvėjimo, netolygaus įtempimo bei periodinių smūginių apkrovų. Juostos būklė turi esminę įtaką konstrukcijos dinaminiam atsakui ir virpesių pasiskirstymui.

2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad nusidėvėjusi transporterio juosta sukelia ryškius periodinius žemo dažnio impulsus, kurie sužadina aukšto dažnio virpesius konstrukcijoje. Tai rodo, kad juostos fiziniai defektai ir sujungimo vietos lemia dinaminio disbalanso atsiradimą.

3. Nauja transporterio juosta pasižymi tolygiu judėjimu ir mažesniu virpesių intensyvumu. FFT ir keprstinės analizės parodė, kad vibracijų energija tolygiai pasiskirsto dažnių srityje, be aiškių rezonansinių virpesių požymių, o sistema veikia stabiliai.

4. Po vienerių metų eksploatacijos juostos vibracijų amplitudės šiek tiek padidėjo. Tai rodo, kad natūralus nusidėvėjimas sukelia laipsnišką dinaminių apkrovų didėjimą, tačiau transporterio konstrukcijos stabilumas išlieka pakankamas.

5. Dirbant transporterių sistemai kartu, užfiksuota papildomų žemo dažnio vibracijų, atsirandančių dėl gretimų įrenginių sąveikos. Šių virpesių intensyvumas neviršijo leistinų ribų, todėl jų įtaka konstrukcijos patvarumui vertinama kaip nežymi.

Literatūra

1. Bortnowski, P., Gładysiewicz, L., Król, R., & Ozdoba, M. (2021). Models of transverse vibration in conveyor belt—Investigation and analysis. *Energies*, 14(14), 4153. <https://doi.org/10.3390/en14144153>
2. Bortnowski, P., Kawalec, W., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies. *Measurement*, 190, 110706. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110706>
3. Bortnowski, P., Król, R., & Ozdoba, M. (2023). Modelling of transverse vibration of conveyor belt in aspect of the trough angle. *Scientific Reports*, 13, 19897. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46534-w>

4. Jovančić, P., Damjanović, V., & Aleksandrović, S. (2017). Extensive vibrations of the belt conveyor drive electromotor of a bucket wheel excavator as a result of intensified wear-and-tear of its mount support. *Journal of Vibroengineering*, 19(1), 214–222. <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17321>
5. Wang, L., & Zhou, M. (2022). Impact of unbalanced loads on conveyor vibrations. *Proceedings of the International Mechanical Systems Conference*.

DEPENDENCE OF LINEAR CONVEYOR VIBRATION ON BELT TYPE

Abstract

The aim of the study was to evaluate the dependence of linear conveyor vibrations on the belt type and to determine the influence of belt condition on the dynamic response of the structure. Experimental measurements were carried out using Brüel & Kjær accelerometer equipment and PULSE analysis software. The collected data were processed using autospectral (FFT), envelope, and cepstrum analyses.

The system was tested with worn, new, and one-year operated belts, as well as when the conveyor operated together with the entire conveyor system. The results showed that a new belt reduces low-frequency impulses and vibration energy, while the amplitudes gradually increase during operation. The operation of the conveyor system generates additional low-frequency vibrations; however, their intensity does not exceed permissible limits.

Keywords: conveyor, vibration, belt condition.