

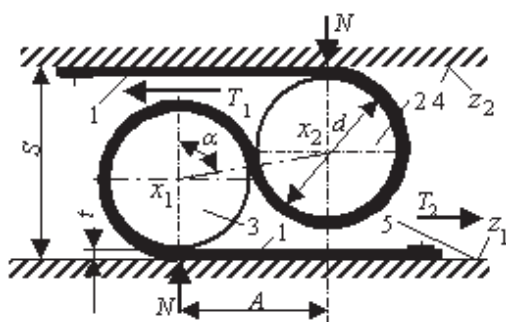
# GEOMETRINIO SLYDIMO TARP ROLAMAITO TIPO MECHANIZMŲ ELEMENTŲ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Laimutis Brunius, Ričardas Viktoras Ulozas

Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

## Įvadas

Remiantis D.F. Wilkes (1967, 1968), R. V. Cadman (1969), R. V. Ulozo (2007) suformuotais apibrėžimais, rolamaito tipo mechanizmas (RTM) yra tikslus mechanizmas, kurio elementai juda vienas kito atžvilgiu neslysdami (1 pav.).



1 pav. Juostinio ritininio Rolamaito tipo mechanizmo (RTM) schema: 1 – lanksti juosta; 2, 3 – ritinėlis; 4, 5,  $z_1, z_2$  – kreipiantysis paviršius

C. M. Percival, F. R. Norwood (1969) nurodo, kad ritinėliai slysta esant tam tikriems mechanizmo parametrų, nors šio reiškinio teoriškai nepagrindžia.

Labai svarbi RTM kinematinio tikslumo tyrimų grandis yra struktūrinių ryšių ir jų poveikio į kinematinį tikslumą nustatymas. Šiuo aspektu reikia ypač atkreipti dėmesį į kontaktinį RTM elementų sąlytį. Klasikinė RTM konstrukcija turi tris kontaktines zonas, t. y. ryšių persipildomumą, o tai aiškiai trukdo analizuoti mechanizmo parametrų sąryšį (Wilkes, 1967, 1968).

Netgi idealiomis prielaidomis (tokiomis kaip RTM juostos absoliutus lankstumas ir netašumas, ritinėlių ir kreipiančiųjų absoliutus kietumas, grynoji Kulono trintis) užduota geometrija ir juostos įtempimu jos galuose negalima vienareikšmiai nustatyti juostos, gulinčios ant ritinėlio, įtempimą. Paprasčiausias tokio uždavinio sprendimo variantas yra Oilerio formulės taikymas trinties jėgos tarp skriemulio ir lankščios grandies, kaip lankstaus ryšio galų įtempimo, trinties koeficiento ir gaubimo kampo funkcijai nustatyti.

RTM atvejis yra sudėtingesnis ir pilna juostos įtempimo epiūra visame juostos ilgyje gali turėti

ne tik lūžių, bet ir šuolių taškuose, kuriuose juosta suspausta tarp kitų RTM elementų. Be to, dėl kontaktinių sąlyčių RTM turi „atmintį“, t. y. kuri laiką, priklausomai nuo ritinėlių padėties juostos atžvilgiu, tarp kontaktinių zonų už gaubimo kampo išlieka įtempimai. Kadangi jėgos  $N$  ir  $T$  (1 pav.) susietos priklausomybe

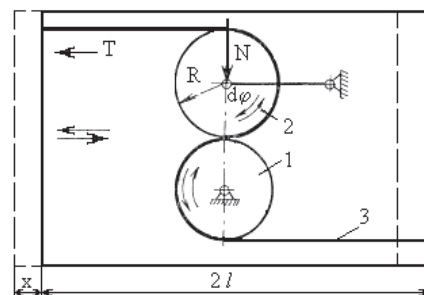
$$N = \frac{T(1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha}, \quad (1)$$

čia  $\alpha$  – ritinėlių centro linijos polinkio kampas, tai, didinant kampą  $\alpha$ ,  $N \rightarrow T$ . Ritinėlių gaubimo juosta kampo didinimas skatina tolygesnį įtempimų išsidėstymą ant sąlyčio paviršių. Iš statikos lygčių rolamaito tipo mechanizmui (1 pav.) galima gauti priklausomybę tarp juostos laisvųjų galų įtempimų  $T$ , t. y.  $T_1$  ir  $T_2$ .

$$T_1 = T_2 \left( 1 - \frac{2f \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2} + f \cos \alpha} \right), \quad (2)$$

čia  $f$  – slydimo trinties koeficientas.

Lygtis (1) atspindi tik dalinį jėgų persiskirtymą ant RTM laisvųjų juostos galų atvejį, nes neįvertinami reiškiniai, vykstantys rolamaitinio mazgo kontaktų zonose, o taip pat ant ritinėlių ir juostos sąlyčio paviršių.



2 pav. Bazinis RTM tyrimo modelis: 1, 2 – ritinėlis; 3 – lanksti juosta (Brunius, Ulozas, 2011)

Aktualu išaiškinti struktūrinių ryšių kontaktinėse zonose, o taip pat tamprios juostos laisvųjų ruoželių įtaką kinematiniam RTM tikslumui. Tam tikslui labai svarbu teisingai parinkti tyrimo bazinio objekto schemą. Schema turi būti pati paprasčiausia ir tuo pat metu atspindėti (2 pav.) RTM ypatybės (Brunius, Ulozas, 2011).

Tokiu baziniu objektu gali būti modelis, skirtas tirti RTM; jame ritinėliai įtvirtinti guolinėse atramose ir juos S būdu gaubiančios juostos galai pritvirtinti prie persislinkimą užtikrinančio įtaiso.

Ritininio mazgo kinematiniams sujungimui būtina išorinė jėga  $N$ , kuri yra vienas iš tiriamojo mechanizmo sąlygojančių parametrų. Duota schema visiškai atitinka reikalavimus, taikomus RTM tyrimo baziniam modeliui, t. y. išsaugo RTM specifiką, tuo pat metu būdama paprasčiausiu variantu, leidžiančiu nustatyti nurodyto tipo juostinių ritininių mechanizmų ryšių judesio dėsningumus, o besikontaktuojančių elementų bendros zonos buvimas žymiai supaprastina klausimo apie struktūrinių RTM ryšių sąveikos RTM nagrinėjimą.

## Geometrinio slydimo rolamaito tipo mechanizmuose eksperimentiniai tyrimai

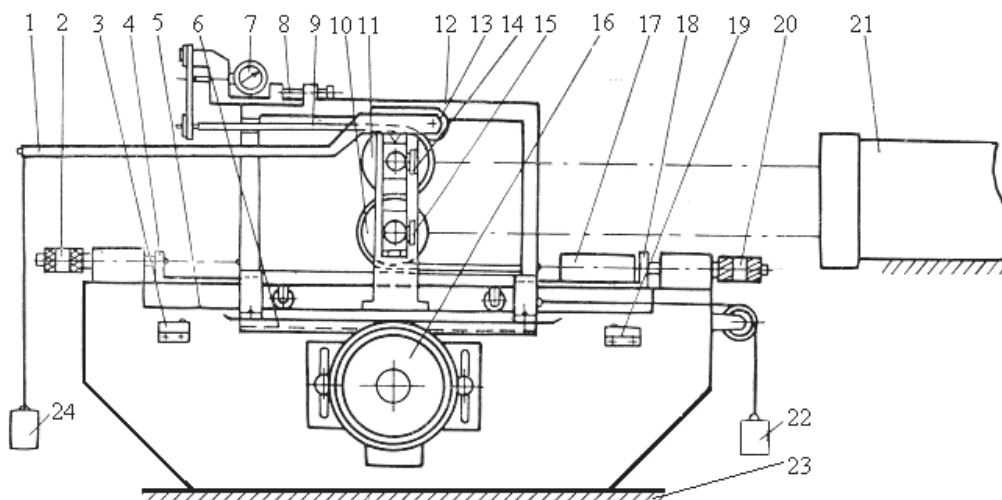
Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami siekiant patvirtinti geometrinio slydimo tarp RTM elementų reiškinį ir nustatyti kinematinio ir kontaktinio praslydimo koeficientų, struktūriškai įeinančių į teorines priklausomybes, reikšmes.

Šio tyrimo metodo esmė: matuojami linijiniai – kampiniai įėjimo ir išėjimo RTM grandžių poslinkiai ir analizuojami užduotų RTM parametrų perdavimo santykių rezultatai.

Dėl palyginti mažų matuojamų poslinkių dydžių (0,001–0,02 % nuo pagrindinio poslinkio) labai svarbu parinkti matavimo priemones.

Optiniai kampinių matavimų prietaisai atitinka pačius griežčiausius reikalavimus matavimo tikslumui, yra patikimi ir paprasti aptarnauti. Šiuos reikalavimus eksperimentui atlikti atitiko ir buvo panaudotas autokolimatorius su optiniu veidrodžiu. Veidrodis, arba daugiabriaunė veidrodinė prizmė, pritvirtinami prie sukamų RTM elementų (ritinėlių), o tai leidžia gauti kokybinius ir kiekybinius fiksuotų linijinių poslinkių rezultatus.

Pagal bazinį RTM tyrimo modelį, pateiktą 2-ame paveiksle, buvo pagamintas eksperimentinis įrenginys, skirtas RTM struktūriniams ryšiams tirti (3 pav.).



**3 pav.** Eksperimentinio įrenginio, skirto RTM struktūriniams ryšiams tirti, schema: 1 – svirtis; 2, 20 – mikrometrinis sraigtas; 3, 19 – galinis perjungiklis; 4, 18 – judamas staliukas; 5 – kreipiančiosios; 6 – krumpliastiebinė pavara; 7 – dinamometras; 8 – įtempimo mechanizmas; 9 – lanksti juosta; 10, 11 – ritinėliai; 12 – vežimėlis; 13 – stovas; 14, 15 – optinis veidrodis; 16 – elektros variklis; 17 – galinis matas; 21 – autokolimatorius; 22 – svarmuo, skirtas pastoviai matuojamajai jėgai užtikrinti; 23 – pagrindas; 24 – svarmuo ritinėlių apkrovai

Kaip matyti iš schemos, įrenginyje 10 ir 11 ritinėliai nesiliečia su vežimėlio (12) kreipiančiaisiais paviršiais, o užfiksuoti stovo (13) atramose ir turi ver-

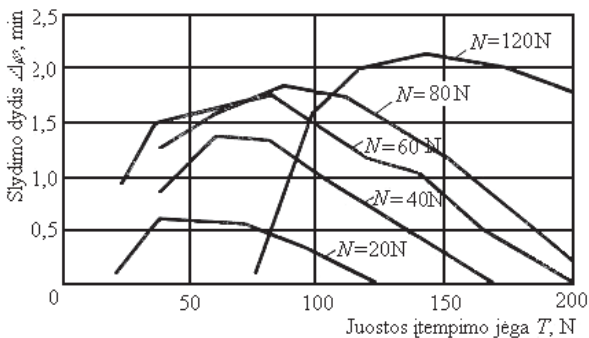
tikalau persislinkimo galimybę. Lanksti juosta (9), atitinkamu būdu gaubianti ritinėlius (10 ir 11), yra pritvirtinta vežimėlio (12) priešinguose galuose. Ri-

tinėlių apkrova normaline jėga vykdoma svarmeniu (24), prikabintu prie svirties (1). Prie kiekvieno ritinėlio (10 ir 11) atitinkamai pritvirtinta po optinį veidrodį (15 ir 14). Jais su autokolimatoriumi 21 galima išmatuoti ritinėlių padėtį, esant fiksuotiems vežimėlio 12 perslinkimams.

Nusistačius mechanizmo parametrus, lankščios juostos įtempimo jėgą, normalinę apkrovą ir vežimėlio perslinkimo dydį, galima nustatyti ritinėlių praslydimo kampo dydį, po to – ir reikalingų koeficientų (kinematinio  $\delta$  ir kontaktinio  $m$ ) reikšmes, būdingas konkrečiam RTM.

Atsižvelgiant į tai, kad RTM elementų kontaktavimo normalinės jėgos priklauso nuo ritinėlių gaubimo juosta kampų, atliekant eksperimentus, tarp įtempimo ir normalinės jėgos nustatoma priklausomybė, atitinkanti pasirinktus gaubimo kampus.

Įtempimo ir normalinės reakcijos santykio įtakai išsiaiškinti buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurie parodė, kad ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\phi$  dydis didėja augant normalinėms jėgoms  $N$  ir mažėja didėjant juostos įtempimo jėgai  $T$  (4 pav.).



4 pav. Ritinėlių slydimo priklausomybės nuo RTM juostos įtempimo, atsižvelgiant į skirtingas elementų sąveikos normalines jėgas

Tuo paaiškinama esminė normalinių jėgų įtaka formuojant struktūrinius ryšius, kurie yra RTM elementų geometrinio slydimo priežastis.

Norint nustatyti kinematinį ir kontaktinį koeficientus, būtina įrenginyje išmatuoti ritinėlių slydimo kampus, keičiantis elementų sąveikos normalinei jėgai.

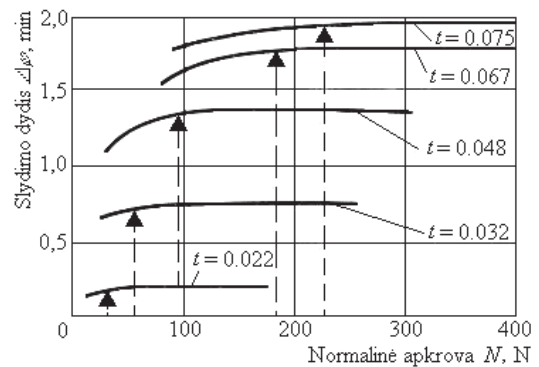
Eksperimentinės kreivės rodo ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\phi$  priklausomybę nuo normalinės jėgos  $N$ , esant skirtingiems juostos storiams  $t$ . RTM elementų glaudaus sąlyčio apatinių ribų padėtyms kiekvienam juostos pjūviui grafike (5 pav.) išskirtos ženklu ▲ ir punktyrinėmis linijomis.

Ritinėlių slydimas stabilizuojasi neviršydamas RTM elementų glaudaus sąlyčio kriterijų ir, toliau didinant normalinę apkrovą, įgauna artimas pastovioms reikšmes.

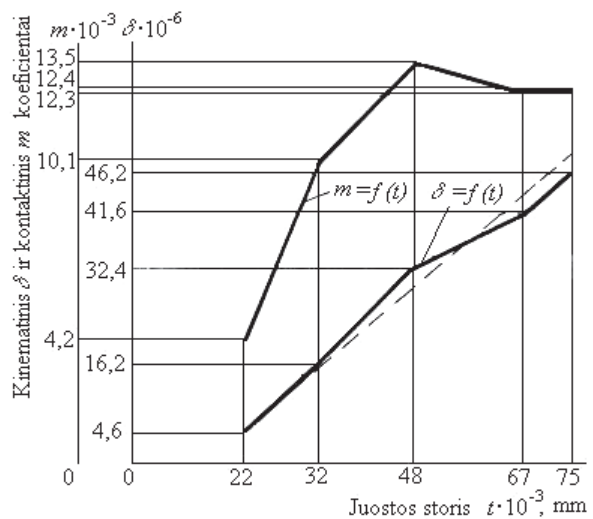
Pagal slydimo kampų  $\Delta\phi$  reikšmes galima nustatyti kinematinio  $\delta$ , po to ir kontaktinio  $m$  slydimo koeficientų reikšmes.

6 paveiksle pateiktos koeficientų reikšmės atitinkamų storių juostai.  $\delta$  ir  $m$  reikšmės gautos, kai ritinėlių spindulys  $R = 10$  mm, o persislinkimo ilgis lygus  $2\pi R$ .

Nustatyta kinematinio ir kontaktinio koeficientų priklausomybė nuo juostos storio. Iš grafiku, pateiktų 6 paveiksle, galima padaryti išvadą, kad kinematinis koeficientas turi charakterį, artimą linijiniam.



5 pav. RTM ritinėlių slydimo priklausomybės nuo normalinės apkrovos, atsižvelgiant į skirtingus juostų storius



6 pav. Kinematinio  $\delta$  ir kontaktinio  $m$  koeficientų priklausomybės nuo juostos storio  $t$

### Išvados

1. Eksperimentinių tyrimų tikslas – patvirtinti geometrinio slydimo tarp RTM elementų reiškinį ir nustatyti kinematinio ir kontaktinio praslydimo koeficientų, struktūriškai įeinančių į teorines priklausomybes, reikšmes. Tam buvo sudaryta eksperimentiškai ištyrinėta bazinio objekto schema.
2. Nustatyta, kad ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\phi$  dydis didėja augant normalinėms jėgoms  $N$

ir mažėja didėjant juostos įtempimo jėgai  $T$ . Tuo paaiškinama esminė normalinių jėgų įtaka formuojant struktūrinius ryšius, kurie yra RTM elementų geometrinio slydimo priežastis. Eksperimentinės kreivės parodo ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\phi$  priklausomybę nuo normalinės jėgos  $N$ , esant skirtingiems juostos storiams  $t$ . Ritinėlių slydimas stabilizuojasi neviršydamas RTM elementų glaudaus sąlyčio kriterijų ir, toliau didinant normalinę apkrovą, įgauna artimas pastovioms reikšmes. Iš gautų grafikų galima padaryti išvadą, kad kinematinis koeficientas turi charakterį, artimą linijiniam.

### Literatūra

1. Wilkes D. F., 1967, Rolamite: A New Mechanical Design Concept. *Research Report SC-RR-67-656 A, Sandia Laboratories*, December.
2. Wilkes D. F., 1968, Rolamite: A New Mechanism. *Mechanical Engineering*. April. Vol. 90. No 4. P. 11–29.
3. Cadman R. V., 1969, Rolamite – Geometry and Force Analysis. *Journal of Engineering for Industry*. Trans. ASME, Ser. B, Feb. Vol. 91. No 1. P. 185–191.
4. Percival C. M., Norwood F. R., 1969, A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamic Response of Rolamite. *Trans. ASME*. Ser. B. Vol. 91. No 1. P. 235–239.
5. Ulozas R.V., 2007, Teoretična in eksperimentalna analiza dinamike mehanizmov Rolamite - A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamics of Rolamite-Type Mechanisms. *Strojniški vestnik. Journal of Mechanical Engineering*. No 53 (1). P. 26–47.
6. Brunius L., Ulozas R. V., 2011, Teoriniai slydimo reiškinio tarp juostinių ritininių mechanizmų elementų tyrimai. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. Nr. 3 (32). P. 148–154. Šiauliai: VšĮ Šiaulių universiteto leidykla.

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON GEOMETRICAL SLIDING BETWEEN ELEMENTS OF ROLAMITE TYPE MECHANISMS

*Laimutis Brunius, Ričardas Viktoras Ulozas*

### Summary

The schemes of theoretical research basic model of RTM and experimental device for research on geometrical sliding between elements of RTM are presented and described. It is proven that between elements of RTM exists irrevocable geometrical sliding. The thickness of a flexible band influences the magnitude of geometrical sliding. The introducing of additional band in the mechanism on the opposite sides of a roller can compensate for the geometrical sliding between elements of RTM.

**Keywords:** Rolamite type mechanisms, “roller-band” system, geometrical sliding.

## GEOMETRINIO SLYDIMO TARP ROLAMAITO TIPO MECHANIZMŲ ELEMENTŲ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

*Laimutis Brunius, Ričardas Viktoras Ulozas*

### Santrauka

Frikcinių mechanizmų elementų besiliečiančių taškų santykinis persislinkimas, priklausantis nuo sąveikaujančių kūnų formos jų lietimosi zonoje, yra geometrinis slydimas. Tiksluose juostiniuose ritininiuose mechanizmuose, tokiuose kaip rolamaito tipo mechanizmuose (RTM), visi elementai kontaktuojasi su juosta ir todėl galimas geometrinis slydimas turėtų būti sąlygojamas lankstaus perdavimo ryšio – baigtinio storio juostos buvimo.

Buvo sudaryta ir eksperimentiškai ištyrinėta bazinio objekto schema. Nustatyta, kad ritinėlių slydimo kampas didėja augant normalinėms jėgoms ir mažėja didėjant juostos įtempimo jėgai. Tuo paaiškinama esminė normalinių jėgų įtaka formuojant struktūrinius ryšius, kurie yra RTM elementų geometrinio slydimo priežastis. Eksperimentinės kreivės parodo ritinėlių slydimo kampo priklausomybę nuo normalinės jėgos, esant skirtingiems juostos storiams. Ritinėlių slydimas stabilizuojasi neviršydamas RTM elementų glaudaus sąlyčio kriterijų ir, toliau didinant normalinę apkrovą, įgauna artimas pastovioms reikšmes. Nustatyta kinematinio ir kontaktinio koeficientų priklausomybė nuo juostos storio. Iš gautų grafikų galima padaryti išvadą, kad kinematinis koeficientas turi charakterį, artimą linijiniam.

**Prasminiai žodžiai:** rolamaito tipo mechanizmai, ritinėlio-juostos sistema, geometrinis slydimas.

Įteikta 2012-02-18