

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Laimutis Brunius

**SLYDIMO REIŠKINIO TARP JUOSTINIŲ RITINIŲ  
MECHANIZMŲ ELEMENTŲ TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2012

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Laimutis Brunius

**SLYDIMO REIŠKINIO TARP JUOSTINIŲ RITINIŲ  
MECHANIZMŲ ELEMENTŲ TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius-Laimutis Brunius( MM 10 gr.)

Vadovas- prof. dr. R. V. Ulozas

Recenzentas- doc. dr. S. Rimovskis

Katedros vedėjas- doc. dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2012

## TURINYS

Santrauka.....	4
Summary.....	5
Įvadas.....	6
1. Juostinių ritininių rolamaito tipo mechanizmų konstrukcinė analizė.....	7
2. Juostinių ritininių skrolerio tipo mechanizmų konstrukcinė analizė.....	13
3. Teoriniai slydimo reiškinių tarp juostinių ritininių mechanizmų elementų tyrimai	17
3.1 Geometrinio slydimo juostiniuose ritininiuose mechanizmuose teoriniai tyrimai.....	19
3.2 Geometrinio slydimo kompensacija juostiniuose ritininiuose RTM.....	25
4. Geometrinio slydimo rolamaito tipo mechanizmuose eksperimentiniai tyrimai....	29
5. Praktinis tyrimo rezultatų įgyvendinimas.....	33
Išvados.....	35
Literatūra.....	36
Priedai.....	37

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

SLYDIMO REIŠKINIO TARP JUOSTINIŲ RITINIŲ MECHANIZMŲ ELEMENTŲ TYRIMAI

Laimutis Brunius. Slydimo reiškinio tarp juostinių ritinių mechanizmų elementų tyrimas.

Vadovas-Prof. Dr. R.V.Ulozas

### Santrauka

Frikcinių mechanizmų elementų besiliečiančių taškų santykinis persislinkimas, priklausantis nuo sąveikaujančių kūnų formos jų lietimosi zonoje, yra geometrinis slydimas. Tiksliuose juostiniuose ritiniuose mechanizmuose(JRM), tokiuose kaip rolamaito tipo(RTM) ar skrolerio tipo mechanizmuose visi elementai kontaktuojasi su juosta ir todėl galimas geometrinis slydimas turėtų būti sąlygojamas lankstaus perdavimo ryšio- baigtinio storio juostos buvimo. Buvo įvertintas RTM elementų geometrinio slydimo negrįžtamumas judesio kryptimi. Šiam slydimui kompensuoti pasiūlyta į mechanizmą įvesti papildoma lanksčią grandį- juosta, gaubiančią ritinėlį iš priešingos pusės. Tai leidžia gauti pastovias perdavimo priklausomybes tarp elementų kampinių ir linijinių persislinkimų ir taip kompensuoti geometrinį slydimą tarp mechanizmo elementų.

Teorinės darbo išvados apie egzistuojantį geometrinį slydimą tarp JRM elementų ir galimybė kompensuoti šį slydimą įgyvendintos pateiktuose dviejuose originaliuose JRM su geometrinio slydimo kompensacija.

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

**ŠIAULIAI UNIVERSITY**  
**FACULTY OF TECHNOLOGY**  
**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Laimutis Brunius. Research on the phenomenon of sliding between elements of band-roller mechanisms. Manager-Prof. Dr. R.V.Ulozas

## **SUMMARY**

The review of constructions of Rolamite type mechanisms (RTM) and Scroller type mechanisms (STM) is presented in this article and given their constructional analysis. Rollers of RTM are wrapped by a flexible band or bands with strain and by big angle and are contacting among themselves only through a flexible band. The Scroller type mechanism consists of several flexible bands, with interference wrapping the same rollers different angle one with respect to the other. The rollers in the STM are kept in place by the force of tension of flexible bands. The devices of RTM and STM have relatively low coefficients of friction and do not require lubricants. Noted that RTM and STM can be without surfaces of directing, i.e. without frames. So, it is possible to conclude that mechanisms of type Scroller are modification of mechanisms type Rolamite.

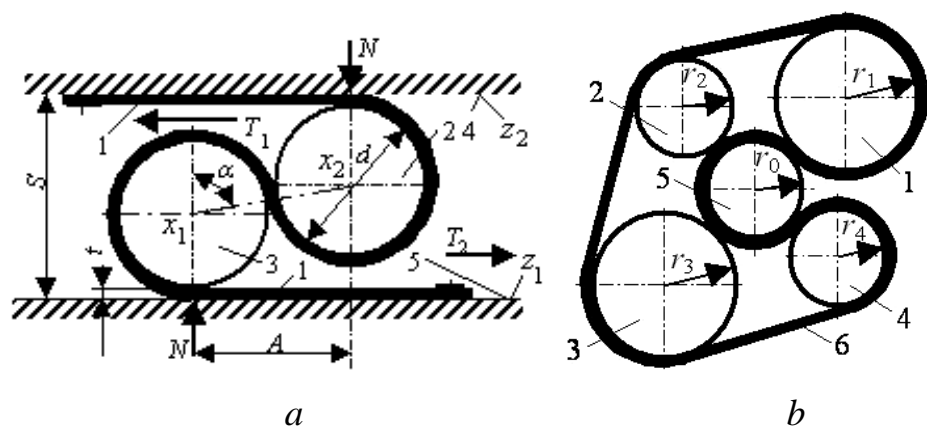
The schemes of theoretical research basic model of RTM and experimental device for research of geometrical sliding between elements of RTM is presented and described. It is proved, that between elements RTM exists irrevocable geometrical sliding. The thickness of a flexible band is influencing on the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

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

## IVADAS

Kuriant šiuolaikinius prietaisus, technikai vis tobulėjant, didėja reikalavimai įvairiai mokslinio tyrimo aparatūrai ir prietaisams – jie turi būti patikimi darbe, didelio tikslumo, mažų gabaritų, tikti darbui ekstremaliose sąlygose, pvz., esant dideliame dulkiškumui, įvairiems kratymams, taip pat darbui aviacijoje ir kosmose, esant padidintai radiacijai, vakuumui, nesvarumo būklėje ir pan. Tam prireikė įtaisų, kurie tenkintų padidinto tikslumo reikalavimus ir kartu galėtų dirbti įvairiuose aplinkose, nepalankiose ligi tol naudotiems mechanizms, pavyzdžiui, statyboje, žemės ūkyje ir kt. Be to, yra keliami reikalavimai lengvam mechanizmo valdymui, paprastai konstrukcijai, kurią būtų galima pagaminti esant kuo mažesnėms sąnaudoms. Šių reikalavimų įvykdymui puikiai tinka tikslieji juostiniai ritininiai mechanizmai (JRM).

XX amžiaus antroje pusėje buvo išrasti dviejų tipų tikslieji juostiniai ritininiai mechanizmai. Tai – rolamaito tipo mechanizmai (RTM), išrasti 1967 m (išradėjas – JAV Sandia mokslinių tyrimų centro inžinierius D.F.Wilkes (Donaldas F. Uilksas) ir skrolerio tipo mechanizmai (STM), išrasti 1995 m. [žr. <http://scrollerwheel.com>] (išradėjas – Kanados mokslininkas Erik Brinkman (Erikas Brinkmanas). RTM ir STM turi bendrą konstrukcinę savybę – juose visi elementai tarpusavyje liečiasi tik per lanksčią juostą (1 pav.).



**1 pav.** Juostiniai ritininiai mechanizmai: *a* – Rolamaito tipo mechanizmo schema: 1 – lanksči juosta; 2,3 – ritinėlis; 4,5,  $z_1$ ,  $z_2$  – kreipiantysis paviršius; *b* – Skrolerio tipo mechanizmo schema: 1,2,3,4 – kraštinis ritinėlis; 5 – centrinis ritinėlis; 6 – juosta;  $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  – ritinėlio spindulys

Abiejų tipų mechanizmai sukėlė didžiulį pasaulio mokslininkų susidomėjimą ir įgavo platų (ypač RTM) pritaikymą.

# 1. JUOSTINIŲ RITINIŲ ROLAMAITO TIPO MECHANIZMŲ KONSTRUKCINĖ ANALIZĖ

Klasikinė RTM konstrukcija sudaryta iš dviejų cilindrinų ritinėlių,  $S$  būdu glaudžiai (esant įtempimui) dideliu kampu (paprastai  $>180^\circ$ ) gaubiamų lanksčios juostos, kurios galai pritvirtinti prie dviejų kreipiančių paviršių [1,2] (1 pav.,  $a$ ).

RTM ritinėliai atlieka slankiojamąjį su vienalaikiu sukimosi judesį. Mechanizmo statinė pusiausvyra aprašoma lygtimi:

$$TS = NA, \quad (1)$$

čia  $T$  – juostos įtempimo jėga;  
 $S$  – atstumas tarp kreipiančių paviršių;  
 $N$  – normalinė jėga;  
 $A$  – horizontalus atstumas tarp ritinėlių centrų.

Didžiausią leidžiamą ritinėlių skersmenį (t.y. tam, kad ritinėliai 2 ir 3 „neiškristų“ iš juostos 1 kilpų) apsprendžia atstumas tarp kreipiančių paviršių 4 ir 5:

$$(d_2 + d_3 + 3t) > S; (d_3 + 3t) < S \quad (2)$$

čia  $d_2$  ir  $d_3$  – ritinėlių skersmenys ( $d_3$  – didesnio skersmens ritinėlis),  
 $t$  – juostos storis,  
 $S$  – atstumas tarp kreipiančių paviršių.

Lanksti ir atspari tempimui juosta daroma iš plastiškų metalų, ypač berilio ir vario lydinių, plastikų ir austinių medžiagų. Ritinėliai daromi iš kaprono, politetrafluoretileno su austo stiklo pluošto užpildu, berilinės bronzos, nerūdijančio plieno.

Visos RTM konstrukcijos pagal išpildymo būdą gali būti skirstomos į dvi grupes:

1. su kreipiančiais paviršiais – rėminiai RTM;
2. be kreipiančių paviršių – nerėminiai RTM.

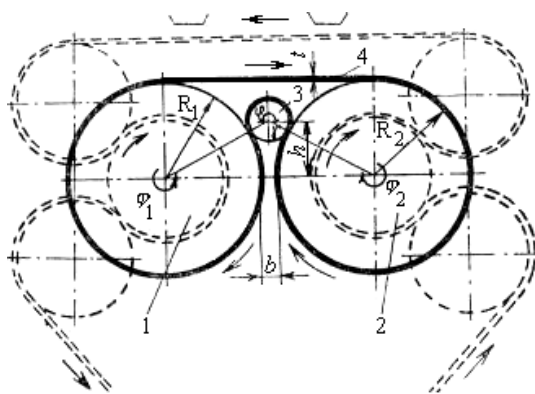
Ritinėliai rėminiuose RTM atlieka sukamąjį (jei RTM korpusas judamas), vienalaikį žengiamąjį ir sukamąjį arba planetinį (jei RTM korpusas nejudamas) judesį.

Nerėminiuose RTM ritinėliai atlieka tik sukamąjį arba sukamąjį su vienalaikiu žengiamuoju išilgai savo ašies judesį. Nerėminiai RTM panaudojami elektromechaniniuose

prietaisuose, juostos traukimo mechanizmuose ir kt.

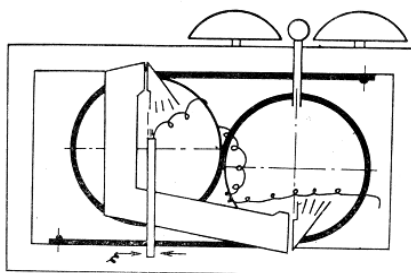
Nerėminiai RTM esminiai skiriasi nuo rėminių, t.y. turinčių kreipiančiuosius paviršius. Nerėminių RTM ritinėlių ašys nejudamos, ritinėliai atlieka sukamai – žengiamąjį ar sukamąjį judesį, o juosta daugelyje konstrukcijų yra pratraukiama (tempiama).

Nerėminio RTM pavyzdžiu gali būti 2-ame paveiksle pavaizduotas rolamaitinis juostos traukimo mechanizmas [3], kurio pavaros mazgas susideda iš dviejų didesnio skersmens ritinėlių 1,2 ir mažesnio skersmens ritinėlio 3, glaudžiai, su įtempimu gaubiamų begaliniu dirželiu 4. Ritinėlių 1,2 gaubimo dirželiu 4 kampas yra virš  $270^\circ$ , ritinėlio 3 – virš  $180^\circ$ . Dideli ritinėlių gaubimo dirželiu kampai užtikrina didelį ritinėlių sukimosi sinchroniškumą vienas kito atžvilgiu.



**2 pav.** Nerėminis RTM – juostos traukimo mechanizmas

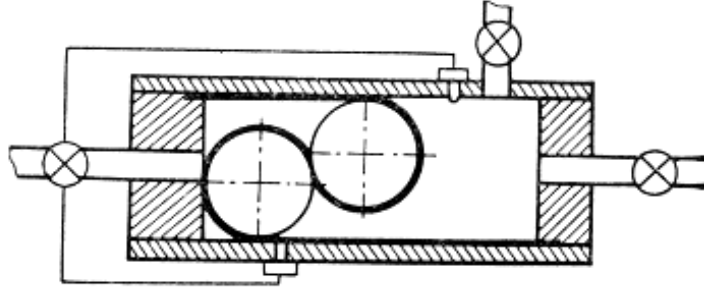
Rėminiai RTM panaudojami kaip atramos, pritaikomos termostatuose, judesio keitikliuose, guoliuose, manipuliatorių griebtuose, siurbliuose ir kt. Rėminių RTM grupei priskiriami mechanizmai, panaudojami kaip atramos. Paprasčiausia jų – klasikinė RTM konstrukcija, parodyta 1 a paveiksle. Ritinėliai joje atlieka žengiamąjį – grįžtamąjį su vienalaikiu sukimosi judesį. Toks RTM gali būti pritaikytas kaip signalizacijos įrenginys (3 pav.).



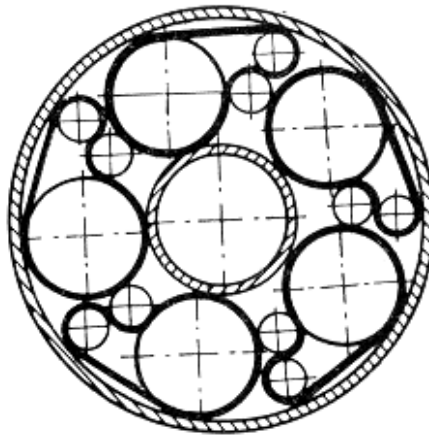
**3 pav.** RTM – signalizacijos įrenginys (JAV patentas Nr. 3592069)



RTM gali būti sėkmingai panaudojami technikoje, pavyzdžiui, kaip siurblys, tiekiantis skystį tiksliais dozėmis, arba kaip siurblio stūmoklis (4 pav.); kaip termostatas (4-5 kartus jautresnis už paprastą bimetalinį); kaip rolamaitinis guolis, kuriame vietoj įprasto guolio separatoriaus lanko įdedama begalinė juosta (5 pav.).

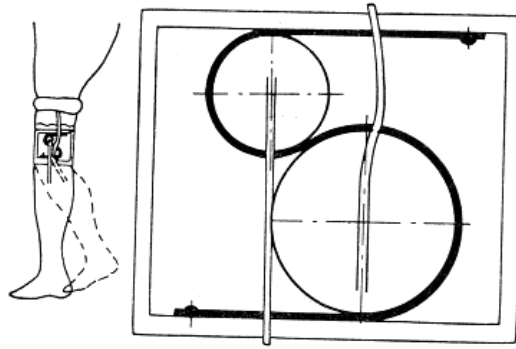


**4 pav.** RTM – siurblio stūmoklis (JAV patentas Nr. 3452175)



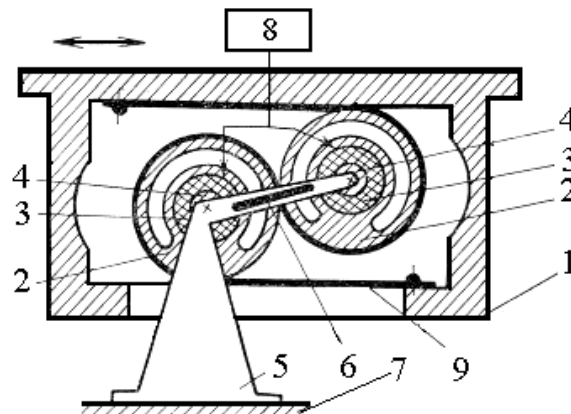
**5 pav.** RTM – guolis (Vokietijos patentas Nr. 1750417)

RTM gali būti panaudoti kaip spyruoklė (kai panaudojami debalansuoti ar nevienodo skersmens ritinėliai, kai kreipiantieji RTM paviršiai yra nelygiagretūs, kai panaudojama susukta į ritinėlį arba kintamo skerspjūvio ploto juosta, arba juosta su pradiniu kreivumo spinduliu ar su standumo įpjovomis); daugelyje elektromechaninių prietaisų; kaip rolamaitinė frikcinė banginė pavara, kurioje sukimasis perduodamas ritinėliais, riedančiais begaline juosta; kaip perdavimo mechanizmas; kaip virpesių generatorius, kai juostoje yra išpjovų, atitinkančių virpesių formą; mikromanipulatoriuose. RTM magnetinės juostos traukimo mechanizme sinchronizuoja varančiojo ir varomojo velenų sukimosi dažnį; net medicinoje gali būti panaudotas kaip protezinis sąnarys (6 pav.); ir daug kur kitur. RTM lengvai miniatiūrizuojami.



**6 pav.** RTM – kojos protezas (JAV patentas Nr. 3592069)

RTM, precizinės technikos uždavinių sprendimo požiūriu, turi trūkumą – juose negalima valdyti pasipriešinimo judesiui jėgų momento dydžio bei traukimo jėgos dydžio, o tai gerokai susiaurina mechanizmų naudojimo sritį. Įvedus į RTM konstrukciją virpančius elementus (7 pav.), šių trūkumų išvengta [4].



**7 pav.** RTM kaip dinaminis virpesių slopintuvas : 1 – korpusas; 2 – dielektrinis ritinėlis; 3 – pjezokeraminė įvorė; 4 – ašis; 5 – laikiklis; 6 – išpjova; 7 – pagrindas; 8 – aukštadažnės įtampos šaltinis; 9 – lanksti juosta

Donaldas F. Uilksas nurodė šiuos RTM pranašumus lyginant juos su kitais juostiniais – ritininiais mechanizmais: didelį kinematinį tikslumą, mažą trinties koeficientą (mažiausia gauta trinties koeficiento reikšmė 0,00004), platų funkcinį pritaikymą [1,2].

Juostiniai – ritininiai rolamaito tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal lentelėse 1-4 pateiktus kriterijus:

1 lentelė

Eil. Nr.	<b>Rolamaito tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal šiuos kriterijus</b>	
1.	Pagal veikimo tipą	su kreipiančiais paviršiais;
		be kreipiančių paviršių;
		su stabdžiais (ant juostos ar ritinėlių);
		be stabdžių.
2.	Pagal ritinėlių skaičių	vieno ritinėlio;
		dviejų ritinėlių;
		keleto ritinėlių.
3.	Pagal ritinėlių judėjimo tipą	sukamasis;
		slenkamasis;
		sukamasis – slenkamasis;
		planetinis.
4.	Pagal juostos tipą	su vientisa juosta;
		su juosta iš keleto dalių;
		su papildoma juosta;
		su keliomis juostomis.
5.	Pagal trinties valdymo galimybę	valdomi;
		nevaldomi.
6.	Pagal RTM veikiančias jėgas	išorinės;
		vidinės.

2 lentelė

Eil. Nr.	<b>RTM ritinėliai gali būti klasifikuojami pagal šiuos kriterijus</b>	
1.	Pagal judėjimo tipą	besisukantys;
		nesisukantys;
		virpantys;
		persislenkantys ašine kryptimi;
		persislenkantys radialine kryptimi.
2.	Pagal skersmenį	simetriniai;
		nesimetriniai.
3.	Pagal išbalansavimą	pusiausviri;
		nepusiausviri.
4.	Pagal formą	sujungti su juosta;
		sudėtiniai.
5.	Pagal sukimosi paviršių	cilindriniai;
		kūginiai;
		ritės formos;
		su grioveliais.
6.	Pagal skerspjuvio formą	apskritimo;
		ovalo;
		suapvalinto trikampio;
		daugiakampio.
7.	Pagal medžiagą	iš vienos medžiagos;
		iš keleto medžiagų.

3 lentelė

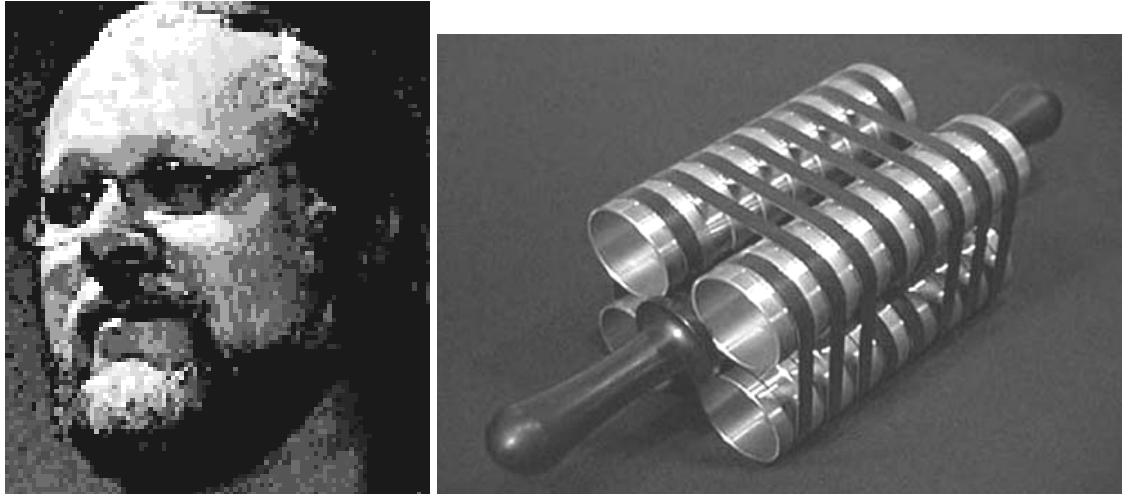
Eil. Nr.	<b>RTM juosta gali būti klasifikuojama pagal šiuos kriterijus</b>	
1.	Pagal įtempimą	įtempta; atlaisvinta.
2.	Pagal formą	pašiaušta (su dantukais); su įrėžom (išilgai, skersai); su išilgine perforacija; susukta į ritinėlių pavidalo.
3.	Pagal skerspjūvį	pastovaus skerspjūvio; kintančio skerspjūvio (pagal storį, pagal plotį, su išpjovomis).
4.	Pagal medžiagą	iš vienos medžiagos; iš keleto medžiagų.

4 lentelė

Eil. Nr.	<b>RTM kreipiantieji paviršiai gali būti klasifikuojami pagal šiuos kriterijus</b>	
1.	Pagal tarpusavio padėtį	lygiagretūs; nelygiagretūs; savaime nusistatantys.
2.	Pagal formą	plokšti; banguoti; žiedo pavidalo; su kliūtimis.

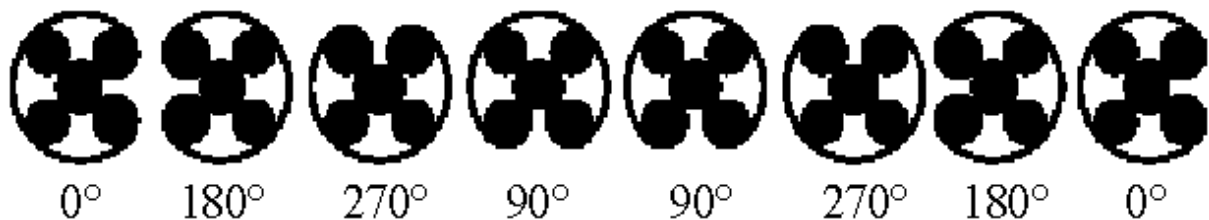
## 2. JUOSTINIŲ RITINIŲ SKROLERIO TIPO MECHANIZMŲ KONSTRUKCINĖ ANALIZĖ

Skrolerio tipo mechanizmo konstrukcija yra sudaryta iš ritinėlių, gaubiamų su įtampa kelių begalinių juostų viename mechanizme arba mechanizmų sistemoje [5] (8 pav.).



**8 pav.** Skrolerio tipo mechanizmo išradėjas Erikas Brinkmanas ir jo sukurtas mechanizmas

Skroleris (angl. *scroll* – prasukti) – tai nauja konstrukcija, galinti dirbti kaip judesio perdavimo mechanizmas. Šis išradimas įkūnija naują geometrinį sprendimą mechanikoje, nežinotą iki šiol ir kuris yra labai paprastas. Unikali dviejų elementų geometrija yra natūraliai stabili, be to ši ritinėlių ir juostų kombinacija yra save prilaikanti ir save išlyginanti, bei pasižymi unikaliais geometriniais metodais, kaip operacijos metu juostos perjuosia ritinius besisukant visai sistemai [4].

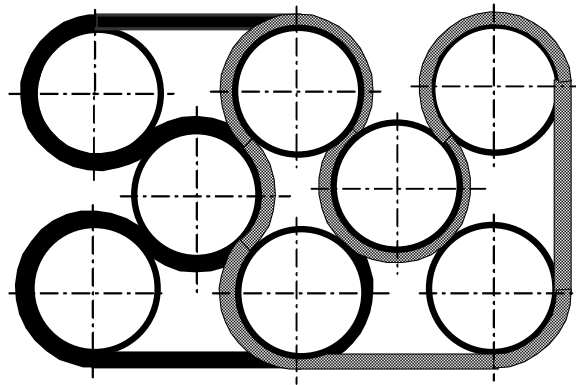


**9 pav.** Ritinėlių gaubimo juostomis skrolerių tipo mechanizme schema

Visą skrolerio mechanizmą sudaro ilgi ritinėliai apgaubti juostomis, kurių rekomenduojama naudoti mažiausiai du kartus daugiau, negu orbitoje esančių ritinėlių. Juostos išdėstomos pakaičiui „pasukant“ jas kampais, lygiais kampams tarp orbitoje esančių ritinėlių. Tai

subalansuoja sistemą ir laiko centrinį ritinėlį jo vietoje, nustatytoje konstruktyviai, taip, kad orbitoje esantys ritinėliai išsidėsto simetriškai jam. Be šio pasukimo centrinis ritinėlis negalėtų laikytis savo vietoje. STM kiekviena juosta beveik apgaubia centrinį ritinėlį, eina puslankiu aplink du gretimus, orbitoje esančius, ritinėjus ir suformuoja savarankišką C formos kilpą (9 pav).

Juostos, išsidėstydamos mechanizme pagal C formos kilpą, nepriklauso vienos nuo kitos. Juostų išdėstymas gali būti įvairus, priklausomai nuo pritaikymo. Kai kuriuose STM juostos yra storesnės, atskiria ritinėjus, ir tuomet jos tarnauja kaip besisukantys paviršiai tarp ritinėlių.



**10 pav.** Dviejų STM vidinis sujungimas

Kai ritinėlio gaubimas juosta yra virš  $180^\circ$ , tai skrolerio mechanizmas gali būti panaudotas sujungimui tarpusavyje (10 pav.), arba su kitais mechanizmais.

Jei STM keturi išoriniai ritinėliai turi tą patį spindulį  $r$ , tuomet STM elastingės juostos ilgis:

$$L = (3r_0 + 7r + 5t) \frac{\pi}{2} + 3\sqrt{2}(r_0 + r + t). \quad (3)$$

Juostiniai – ritininiai skrolerio tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal 5-8 lentelėse pateiktus kriterijus:

**5 lentelė**

Eil. Nr.	Skrolerio tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal:	
1.	modelio tipą	trumpasis (su 4-iom juostom ir 5-iais ritinėjais)
		ilgasis (su 8-iom juostom ir 5-iais ritinėjais)
		iš keleto medžiagų.

6 lentelė

Eil. Nr.	Skrolerio tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal juostų:	
1.	konstrukciją	stori
		sluoksniuoti
		vientisi
		platūs
		austi
		įdubę
2.	paviršių	su grioveliais
		graviruoti
		briaunuoti
		dantyti
3.	įtempimą	labai įtempti
		mažai įtempti
4.	tipą	su vientisa juosta;
		su juosta iš keleto dalių;
		su papildoma juosta;
		su keliomis juostomis.

7 lentelė

Eil. Nr.	Skrolerio tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal ritinėlių:	
1.	formą	apskritimo formos
		ovaliniai
		plokšti
2.	struktūrą	cilindrai
		strypai
3.	išpildymo būdą	įsprausti
		užpildyti skysčiu
		iš akytos medžiagos

8 lentelė

Eil. Nr.	Skrolerio tipo mechanizmai gali būti klasifikuojami pagal sujungimo būdą:		
1.	paprasti		
2.	kombinuoti	vienu metu su keliais mechanizmais	
		tarpusavyje	per juostas
			per ritinėlius
		su juostom ir ritinėliais tuo pat metu	

Skrolerių mechanizmai nereikalauja tepimo, todėl jie labai tinkami panaudoti mikro-mechanikoje, o taip pat ir didelėse konstrukcijose, pavyzdžiui, laivų statyboje didžiuliams siurbliams. Kadangi jiems tepimas nebūtinus, tai gali pakeisti krumpliaratines ir guolines sistemas.

Išnagrinėjus juostinių ritinių rolamaito ir skrolerio tipų mechanizmų ypatumus, pastebime, kad šie mechanizmai savo ypatumais labai panašūs, taigi, galima daryti išvadą, kad skrolerio tipo mechanizmai yra rolamaito mechanizmų modifikacija, viena jo versijų.



### 3. TEORINIAI SLYDIMO REIŠKINIO TARP JUOSTINIŲ RITINIŲ MECHANIZMŲ ELEMENTŲ TYRIMAI

Remiantis [1,2,6], RTM – tikslus mechanizmas, kurio elementai juda vienas kito atžvilgiu neslysdami. Straipsnio [7] autoriai nurodo, kad ritinėliai slysta esant tam tikriems mechanizmo parametrų, nors šio reiškinių teoriškai nepagrindžia.

Labai svarbi RTM kinematinio tikslumo tyrimų grandis yra struktūrinių ryšių ir jų poveikio į kinematinį tikslumą nustatymas, ir šiame aspekte ypatingai reikia atkreipti dėmesį į kontaktinį RTM elementų sąlytį. Klasikinė RTM konstrukcija turi tris kontaktines zonas, t.y. ryšių persipildomumą, kas aiškiai trukdo analizuoti mechanizmo parametrų sąryšį [1,2].

Netgi idealiomis prielaidomis (tokiomis kaip RTM juostos absoliutus lankstumas ir neįtempumas, ritinėlių ir kreipiančiųjų absoliutus kietumas, gryoji Kulono trintis) užduota geometrija ir juostos įtempimu jos galuose negalima vienareikšmiai nustatyti juostos, gulinčios ant ritinėlio, įtempimą. Paprasčiausias duoto uždavinio sprendimo variantas yra Oilerio formulės panaudojimas nustatymui trinties jėgos tarp skriemulio ir lanksčios grandies kaip lanksaus ryšio galų įtempimo, trinties koeficiento ir gaubimo kampo funkcijos.

RTM atvejis yra sudėtingesnis ir pilna juostos įtempimo epiūra visame juostos ilgyje gali turėti ne tik lūžius, bet ir šuolius taškuose, kuriuose juosta suspausta tarp kitų RTM elementų. Be to, ryšium su kontaktiniais sąlyčiais RTM turi „atmintį“, t.y. kurį tai laiką tarp kontaktinių zonų už gaubimo kampo išlieka įtempimai, priklausomai nuo ritinėlių padėties juostos atžvilgiu. Kadangi jėgos  $N$  ir  $T$  (1 pav.,  $a$ ) susietos priklausomybe

$$N = \frac{T(1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha}, \quad (4)$$

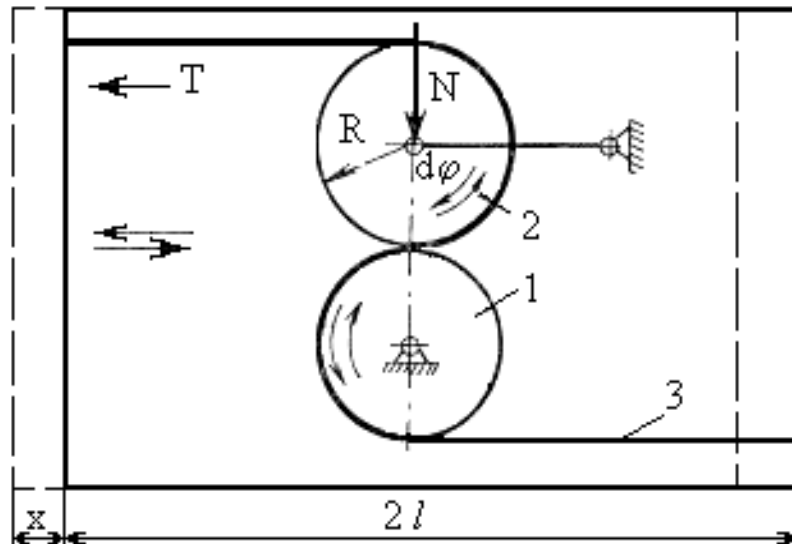
čia  $\alpha$  – ritinėlių centro linijos polinkio kampas,

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.,  $a$ ) galima gauti priklausomybę tarp juostos laisvųjų galų įtempimų  $T$ , t.y.  $T_1$  ir  $T_2$ .

$$T_1 = T_2 \left( 1 - \frac{2f \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2} + f \cos \alpha} \right), \quad (5)$$

čia  $f$  – slydimo trinties koeficientas.

Lygtis (4) atspindi tik dalinį jėgų persiskirstymo ant RTM laisvųjų juostos galų atvejį, nes neįvertinami reiškiniai, vykstantys rolamaitinio mazgo kontaktų zonose, o taip pat ant ritinėlių ir juostos sąlyčio paviršių.



**11 pav.** Bazinis RTM tyrimo modelis: 1, 2 – ritinėlis; 3 – lanksti juosta

Svarbu 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 RTM ypatybes (11 pav.).

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 kinematiniam sujungimui būtina išorinė jėga  $N$ , kuri yra vienas iš tiriamojo mechanizmo apsprendžiančių parametru. Duota schema pilnai 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.

### 3.1 Geometrinio slydimo juostiniuose ritiniuose mechanizmuose teoriniai tyrimai

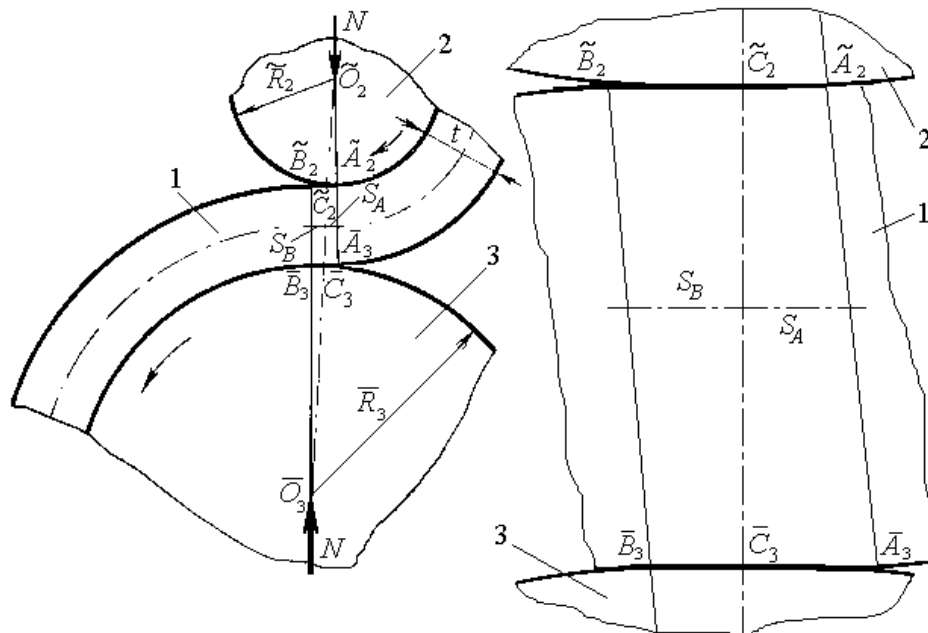
Geometrinis slydimas – tai frikcinių mechanizmų elementų besiliečiančių taškų Santakinis persislinkimas, priklausantis nuo sąveikaujančių kūnų formos jų lietimosi zonoje. Tiksluose JRM, tokiuose kaip RTM ar STM, visi elementai kontaktuojasi su juosta ir todėl galimas geometrinis slydimas turėtų būti sąlygojamas lankstaus perdavimo ryšio – baigtinio storio juostos buvimo.

Šių tyrimų tikslas – išsiaiškinti ar egzistuoja geometrinis slydimas tiksluose juostiniuose – ritiniuose mechanizmuose ir, jei egzistuoja, kaip jį kompensuoti.

Panagrinėkime charakteringą juostiniams ritiniams mechanizmams mazgą, susidedantį iš dviejų cilindrinų ritinėlių ir lanksčios juostos, gaubiančios juos iš priešingų pusių (12 pav.).

Priimkime, kad juosta su ritinėliais, veikiami išorinės jėgos, sudaro juostinį ritinį mazgą su glaudžia geometrija, t.y. mazgo elementai kontaktuojasi ritinėlių centrų linijoje. Kontaktinės ritinėlių ir juostos apkrovos veikia į nagrinėjamų mechanizmų kinematiką, nes būtent kontaktuose vyksta judesio perdavimas.

Lai juosta 1 juda nuo „paduodančio“ (juosta) ritinėlio 2, kurio spindulys  $\tilde{R}_2$ , ant „priimančio“ ritinėlio 3 su spinduliu  $\bar{R}_3$ . Ženklu „ $\sim$ “ pažymėti juostinio – ritinio mechanizmo elementai (ritinėlis ar kreipiančioji plokštuma), „paduodantys“ juosta, o ženklu „-“ – ją „priimantys“.



12 pav. Juostinio ritinio mechanizmo „ritinėlis-juosta-ritinėlis“ mazgo schema

Pjūvis  $\tilde{A}_2 \bar{A}_3$ , judėdamas pereina į padėtį  $\tilde{B}_2 \bar{B}_3$ , per kontakto zoną ir tampa natūraliu spindulių  $\tilde{O}_2 \tilde{A}_2$  ir  $\bar{O}_3 \bar{B}_3$  tęsiniu. Panagrinėkime juostos 1 judesio ypatybes elementų 2 ir 3 kontakto zonoje. Pjūvių atstumus nuo centrų linijos  $\tilde{O}_2 \bar{O}_3$  iki kontaktinės zonos kraštų pažymėkime  $S_A + S_B$ , juostos 1 storį – raide  $t$ . Dydžio  $S_A + S_B$  reikšmė priklauso nuo besikontaktuojančių elementų 2-1-3 medžiagų tampriųjų savybių, elementų 2 ir 3 spindulių  $\tilde{R}_2$  ir  $\bar{R}_3$  kreivumo ir normalinės apkrovos  $N$  dydžio. Be to, elementų kontakto zonoje veikiant išorinei apkrovai, atsiranda gniuždymo deformacijos, o jų atstojamoji praeina per ritinėlių riedėjimo ašį. Riedant nagrinėjamam mazgui, apkrautam jėga  $N$ , kontaktiniuose ploteliuose vyksta įtempimų persiskirstymas. Šio padarinyje atstojamosios pridėties taškas persislenka į riedėjimo pusę koku tai atstumu  $k$ . Tokio įtempimų persiskirstymo priežastis yra tamprių rumbelių susidarymas ant kūnų paviršių. Darbas, sunaudojamas jų susidarymui, yra riedėjimo trinties jėgų darbas, o  $k$  – riedėjimo trinties koeficientas. Tuomet pagal 12 pav. priimame, kad

$$S_A = S_0 + k; \quad S_B = S_0 - k; \quad S_A + S_B = 2S_0, \quad (6)$$

čia  $2S_0$  – kontakto plotis.

Laikome, kad

$$\min(\tilde{R}_2; \bar{R}_3) \gg t; \quad \min(\tilde{R}_2; \bar{R}_3) \gg S_0 > k. \quad (7)$$

Įvertindami ieškomųjų dydžių mažumo eilę, iš keturkampio  $\tilde{A}_2 \tilde{B}_2 \bar{B}_3 \bar{A}_3$  pakankamu tikrumu surandame  $\tilde{B}_2 \tilde{C}_2$ ,  $\tilde{C}_2 \tilde{A}_2$ ,  $\bar{B}_3 \bar{C}_3$ ,  $\bar{C}_3 \bar{A}_3$  reikšmes – kiekvieno ritinėlio 2 ir 3 persislinkimo ruoželius kontakto zonoje:

$$\tilde{B}_2 \tilde{C}_2 = S_B \frac{\bar{R}_3 + t}{\bar{R}_3 + \frac{t}{2}}; \quad \tilde{C}_2 \tilde{A}_2 = S_A \frac{\tilde{R}_2}{\tilde{R}_2 + \frac{t}{2}}; \quad \bar{B}_3 \bar{C}_3 = S_B \frac{\bar{R}_3}{\bar{R}_3 + \frac{t}{2}}; \quad \bar{C}_3 \bar{A}_3 = S_A \frac{\tilde{R}_2 + t}{\tilde{R}_2 + \frac{t}{2}}. \quad (8)$$

Pjūviui  $\tilde{A}_2 \bar{A}_3$  pereinant į padėtį  $\tilde{B}_2 \bar{B}_3$  ritinėlio 2 paviršius persislinks dydžiu  $\tilde{x}$ , o ritinėlio 3 paviršius – dydžiu  $\bar{x}$ , t.y.

$$\tilde{x} = \tilde{B}_2 \tilde{C}_2 + \tilde{C}_2 \tilde{A}_2 = \frac{(S_0 - k)(\bar{R}_3 + t)}{\bar{R}_3 + \frac{t}{2}} + \frac{(S_0 + k)\tilde{R}_2}{\tilde{R}_2 + \frac{t}{2}};$$

$$\bar{x} = \bar{B}_3 \bar{C}_3 + \bar{C}_3 \bar{A}_3 = \frac{(S_0 - k)\bar{R}_3}{\bar{R}_3 + \frac{t}{2}} + \frac{(S_0 + k)(\tilde{R}_2 + t)}{\tilde{R}_2 + \frac{t}{2}}. \quad (9)$$

Lanksti juosta 1 persislinks dydžiu

$$2S_0 = \frac{\tilde{x} + \bar{x}}{2}. \quad (10)$$

Lai juosta 1 persislinks begaliniai mažu dydžiu  $ds$ , o ritinėliai 2 ir 3 –  $d\tilde{x}$  ir  $d\bar{x}$  atitinkamai. Įvertinant tai, kad

$$d\tilde{x} = \tilde{x} \frac{ds}{2S_0}; \quad d\bar{x} = \bar{x} \frac{ds}{2S_0}, \quad (11)$$

užrašysime ritinėlių 2 ir 3 poslinkius, atitinkančius lankščios juostos 1 poslinkį dydžiu  $ds$ , kai

$$\frac{t}{R} \ll 1: \quad (12)$$

$$d\tilde{x} = \left[ \frac{(S_0 - k)(\bar{R}_3 + t)}{\bar{R}_3 + \frac{t}{2}} + \frac{(S_0 + k)\tilde{R}_2}{\tilde{R}_2 + \frac{t}{2}} \right] \frac{ds}{2S_0} = \frac{1}{2} \left[ \frac{(1 - \frac{k}{S_0})(1 + \frac{t}{\bar{R}_3})}{1 + \frac{t}{2\bar{R}_3}} + \frac{1 + \frac{k}{S_0}}{1 + \frac{t}{2\tilde{R}_2}} \right] ds. \quad (13)$$

Remiantis (11) lygtimi galima parašyti, kad

$$\frac{t}{2\bar{R}_3} \ll 1; \quad \frac{t}{2\tilde{R}_2} \ll 1. \quad (14)$$

Varijuodami šiais mažais dydžiais, gauname

$$d\tilde{x} = \left[ 1 + \frac{t}{4} \left( \frac{1}{\bar{R}_3} - \frac{1}{\tilde{R}_2} - \frac{k}{\bar{R}_3 S_0} - \frac{k}{\tilde{R}_2 S_0} \right) \right] ds. \quad (15)$$

Nekreipiame dėmesio į mažų dydžių kvadratus ir gauname

$$d\tilde{x} \cong \left[ 1 + \frac{t}{4} \left( \frac{1 - \frac{k}{S_0}}{\bar{R}_3} - \frac{1 + \frac{k}{S_0}}{\tilde{R}_2} \right) \right] ds. \quad (16)$$

Analogiškai

$$d\bar{x} \cong \left[ 1 - \frac{t}{4} \left( \frac{1 - \frac{k}{S_0}}{\bar{R}_3} - \frac{1 + \frac{k}{S_0}}{\tilde{R}_2} \right) \right] ds. \quad (17)$$

Pažymime

$$m = \frac{k}{S_0} - \text{kontaktinis koeficientas} \quad (18)$$

ir įvykdome pakeitimus su ženklų pakeitimu

$$d\tilde{x} = \left[ 1 - \frac{t}{4} \left( \frac{1+m}{\tilde{R}_2} - \frac{1-m}{\bar{R}_3} \right) \right] ds; \quad (19)$$

$$d\bar{x} = \left[ 1 + \frac{t}{4} \left( \frac{1+m}{\tilde{R}_2} - \frac{1-m}{\bar{R}_3} \right) \right] ds. \quad (20)$$

Jei priimti, kad

$$\delta = \frac{t}{4} \left( \frac{1+m}{\tilde{R}_2} - \frac{1-m}{\bar{R}_3} \right), \quad (21)$$

tai galiausiai atitinkamų ritinėlių skaičiuojamieji poslinkiai kontakto zonoje:

$$d\tilde{x} = (1 - \delta) ds; \quad d\bar{x} = (1 + \delta) ds, \quad (22)$$

čia  $\delta$  – kinematinis slydimo koeficientas.

Priklausomybės (22) rodo, kad ritinėliai juostos atžvilgiu slysta priešingomis kryptimis (12 pav.). Abiejų ritinėlių slydimas, esant absoliutinei atskaitai, yra vienpusis, tik juostą „paduodančio“ ritinėlio 2 (su  $\tilde{R}_2$ ) judesys truputį sulėtėja, nes slydimas nukreiptas priešinga riedėjimui kryptimi, o „priimančio“ ritinėlio 3 (su  $\bar{R}_3$ ) – pagreitėja. Esant atvirktiniam judėjimui, juostą „paduodantis“ ritinėlis tampa „priimančiu“, o „priimantis“ – „paduodančiu“, bet jų slydimo kryptis nepakinta, o iš to galima numanyti apie egzistuojantį kinematiškai negrįžtamą RTM nagrinėjamo mazgo elementų geometrinį slydimą, esant laisvai pasirinktiems ritinėlių spinduliams.

Kinematinis slydimo koeficientas  $\delta$  skirtingas priešingiems ritinėlių poslinkiams, nes juostą „paduodančio“ ir „priimančio“ ritinėlių spindulių reikšmės išraiškoje (21) keičiasi vietomis. Iš (21) matyti, kad dydis  $\delta$  apsprendžiamas nagrinėjamo mazgo geometrijos parametrais, o lanksčios juostos storis  $t$  esminiai veikia į jo elementų geometrinio slydimo dydį.

Vienodiems ritinėliams lygtis (21) atrodo taip:

$$\delta = \frac{mt}{2R}. \quad (23)$$

Kontaktinio koeficiento  $m$  reikšmės nustatymas pagal (18) yra sąlyginis, nes nėra metodikos kontaktinės zonos tarp JRM elementų pločiui paskaičiuoti. Todėl tikslinga eksperimentiniu būdu nustatyti  $m$  ir  $\delta$  reikšmes.

Tokiu būdu ištirti struktūriniai JRM ryšiai ir priklausomybės (22) leidžia nustatyti ritinėlių naują laisvumo laipsnį mechanizmuose. Galima padaryti išvadą, kad perdavimo skaičius, esant pastoviems mechanizmo parametrams, turėtų priklausyti nuo judesio įtampos, ir ši savybė jau savaime yra netrivialus faktas.

Norint išsiaiškinti kinematinės mechanizmo ypatybes išnagrinėkime perdavimo Santaikių nuoseklumą esant RTM elementų riedėjimui. Priklausomybėse (19) ir (20), riedant ritinėliams 2 ir 3 su juosta 1 (12 pav.) plokščiais kreipiančiais paviršiais  $z_1$  ir  $z_2$  (žr. 1 a pav.), vieno spindulio  $\tilde{R}_2$  ar  $\bar{R}_3$  reikšmę priimame lygią  $\infty$ , o kito  $\tilde{R}_2 = R$  ar  $\bar{R}_3 = R$  atitinkamai.

Sutinkamai su aukščiau pateiktu teoriniu pagrindimu, kiekvienoje kontaktinėje zonoje bus geometrinis elementų praslydimas.

Užrašome perdavimo funkcijas pagal formules (19) ir (20) kiekvienai kontaktinei zonai, judant ritinėliams su juosta į kairę atžvilgiu pagrindo, beje, (19) formulė atitinka juosta „paduodantį“ elementą, o (20) – „priimantį“:

1. kontaktinė zona „kreipiantysis paviršius  $z_2$  („paduodantis“ juosta) – lanksti juosta 1 – ritinėlis 2 („priimantis“ juosta)“:

$$\frac{dz_2}{dx_2} = \frac{1 + \frac{t}{4} \left( \frac{1-m}{R} \right)}{1 - \frac{t}{4} \left( \frac{1-m}{R} \right)}.$$

Linearizuodami, gauname

$$\frac{dz_2}{dx_2} \cong 1 + \frac{t(1-m)}{2R}; \quad (24)$$

2. kontaktinė zona „ritinėlis 2 („paduodantis“ juosta) – lanksti juosta 1 – ritinėlis 3 („priimantis“ juosta)“:

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{1 - \frac{mt}{2R}}{1 + \frac{mt}{2R}}.$$

Linearizuodami, gauname

$$\frac{dx_2}{dx_1} \cong 1 - \frac{mt}{R}; \quad (25)$$

3. kontaktinė zona „ritinėlis 3 („paduodantis“ juosta) – lanksti juosta 1 – „kreipiantysis paviršius  $z_1$  („priimantis“ juosta)“:

$$\frac{dx_1}{dz_1} = \frac{1 - \frac{t}{4} \left( \frac{1+m}{R} \right)}{1 + \frac{t}{4} \left( \frac{1+m}{R} \right)}.$$

Linearizuodami, gauname



$$\frac{dx_1}{dz_1} \cong 1 - \frac{t(1+m)}{2R}. \quad (26)$$

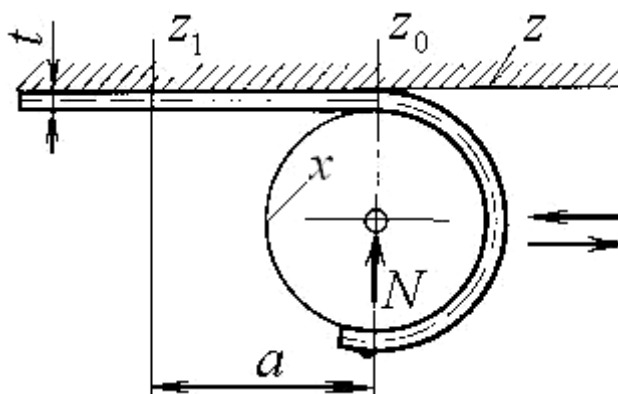
Tuo atveju, kai riedėjimas vyksta be praslydimo tarp elementų, turi būti patenkinama sąlyga

$$\frac{dz_2}{dz_1} = \frac{dz_2}{dx_2} \frac{dx_2}{dx_1} \frac{dx_1}{dz_1} = 1. \quad (27)$$

RTM, pavaizduotame pav. 1 a, sutinkamai su lygtimis (24),(25) ir (26), sąlyga (27) neišlaikoma, kas leidžia daryti prielaidą apie perteklinius ryšius tarp jo elementų. Iš to seka, kad mechanizmas dirba su struktūrinių elementų slydimu ir turi galimybę judėti lanksčios juostos tampriųjų savybių dėka.

### 3.2 Geometrinio slydimo kompensacija juostiniuose ritininiuose RTM

Pasinaudojant teorinėmis išvadomis apie RTM elementų geometrinio slydimo atsiradimo priežastis, išnagrinėkime ritinėlio, apgaubto lanksčia juosta ir riedančio plokštuma be slydimo lietimosi zonoje, tiesialinijinį grįžtamąjį judesį (13 pav.).



**13 pav.** Juostinio ritininio mechanizmo schema geometrinio slydimo nagrinėjimui

Ritinėlis su juosta persislenka iš padėties  $z_1$  į padėtį  $z_0$  ir „paduoda“ juostą. Plokščioji mechanizmo grandis taps „priimančia“ juostą ir pagal priklausomybes (22), kai  $dz > 0$ , galime užrašyti ritinėlio persislinkimo priklausomybę nuo juostos persislinkimo

$$dz = (1 + \delta_1)ds, \quad (28)$$

čia  $z$  – išilginis ritinėlio poslinkis;

$s$  – juostos poslinkis;

$\delta_1$  – kinematinis slydimo koeficientas (persislinkimas dešinėn).

Kai  $dz < 0$ , „paduodančia“ juosta taps plokščioji grandis ir atitinkamai priklausomybė atrodys taip:

$$dz = (1 - \delta_2) ds', \quad (29)$$

čia  $\delta_2$  – kinematinis slydimo koeficientas (persislinkimas kairėn).

Įvertindami tai, kad  $\delta_1$  ir  $\delta_2$  yra maži dydžiai, juostos persislinkimo priklausomybės kiekvienam atvejui atrodys taip:

$$ds = (1 - \delta_1)dz; \quad ds' = (1 + \delta_2)dz. \quad (30)$$

Suintegravus, gausime

$$s_1 - s_0 = (1 - \delta_1)(z_1 - z_0); \quad (31)$$

$$s'_0 - s_1 = (1 + \delta_2)(z_0 - z_1). \quad (32)$$

Sutvarkius lygtis (30) ir (31), gausime

$$s'_0 - s = (z_1 - z_0)(-\delta_1 - \delta_2); \quad (33)$$

$$\Delta s = -a(\delta_1 + \delta_2), \quad (34)$$

čia  $a$  – ritinėlio persislinkimo amplitudė (kelias);

$\Delta s$  – juostos persistūmimo per vieną ritinėlio riedėjimo ciklą dydis, be to, „-“ ženklas rodo, kad persistūmimo kryptis priešinga  $z$  kryptčiai.

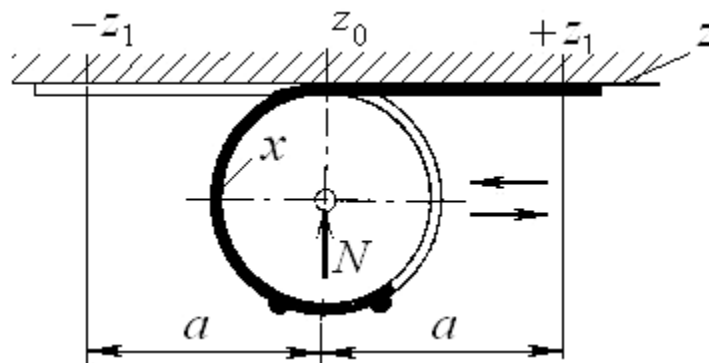
Iš lygties (21) randame  $\delta_1$  ir  $\delta_2$  reikšmes, priimdami domėn tai, kad vieno iš ritinėlių spindulys  $R = \infty$  (plokštuma):

$$\delta_1 = \frac{t}{4} \cdot \frac{1+m}{R}; \quad \delta_2 = -\frac{t}{4} \cdot \frac{1-m}{R}; \quad (35)$$

$$\delta_1 + \delta_2 = \frac{tm}{2R}; \quad \Delta s = -\frac{atm}{2R}. \quad (36)$$

Įvertiname RTM elementų geometrinio slydimo negrįžtamumą judesio kryptimi ir kad kompensuoti šį slydimą, siūloma į mechanizmą įvesti papildomą lanksčią grandį – juostą, gaubiančią ritinėlį iš priešingos pusės. Tai leistų gauti pastovias perdavimo priklausomybes tarp elementų kampinių ir linijinių persislinkimų ir taip kompensuoti geometrinį slydimą tarp mechanizmo elementų.

Mechanizmo, kuriame geometrinis slydimas tarp elementų kompensuojamas, schema pateikiama 14 pav.



**14 pav.** Geometrinio slydimo kompensacija juostiniuose ritininiuose RTM

Ritinėlis, apgaubtas dvejomis juostomis iš priešingų pusių, juda plokštuma  $z$ . Juostos įtemptos jėga  $T$ , o ritinėlis apkrautas jėga  $N$  ir tai užtikrina mechanizmo besikontaktuojančių elementų glaudų susilietimą.

Įvertindami tai, kad ritinėlis apgaubtas dvejomis juostomis, turime galimybę kontaktinę kinematinę porą „ritinėlis – plokštuma“ nagrinėti vienu metu ir kaip „paduodančią“ juostą ir kaip „priimančią“.

Priklausomai nuo judesio krypties, gausime šias priklausomybes:

$$\Delta s_1 = -a (\delta_1 + \delta_2); \quad (37)$$

$$\Delta s_2 = a (\delta_1 + \delta_2). \quad (38)$$

Suminis priklausomybių (36) ir (37) rezultatas bus lygus nuliui, t.y.

$$2\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = 0, \quad (39)$$

tuo patvirtinama, kad galima kompensuoti geometrinį slydimą tarp elementų apgaubus ritinėį dvejomis juostomis priešingomis kryptimis.

Priklausomybės (37) ir (38) gali skirtis ne tik ženklų, bet ir kinematinių koeficientų reikšmėmis, priklausomai nuo pradinės ir atgalinės eigų skirtingų sąlygų. Šiuo atveju paklaidų dydžiai gali turėti skirtingas nuo nulio reikšmes, lygias absoliučiu dydžiu ir priešingas pagal ženklą.

Remiantis darbo išvadomis apie egzistuojantį geometrinį slydimą tarp juostinių ritinių mechanizmų elementų ir teoriniais galimybės kompensuoti šį slydimą tyrinėjimais, buvo sukurti originalūs juostiniai ritiniai mechanizmai [8,9] su geometrinio slydimo kompensacija.

## 4. GEOMETRINIO SLYDIMO ROLAMAITO TIPO MECHANIZMUOSE EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

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

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

Dėl gan mažų matuojamų poslinkių dydžių (0,001-0,02 % nuo pagrindinio poslinkio) labai svarbus yra matavimo priemonių parinkimas.

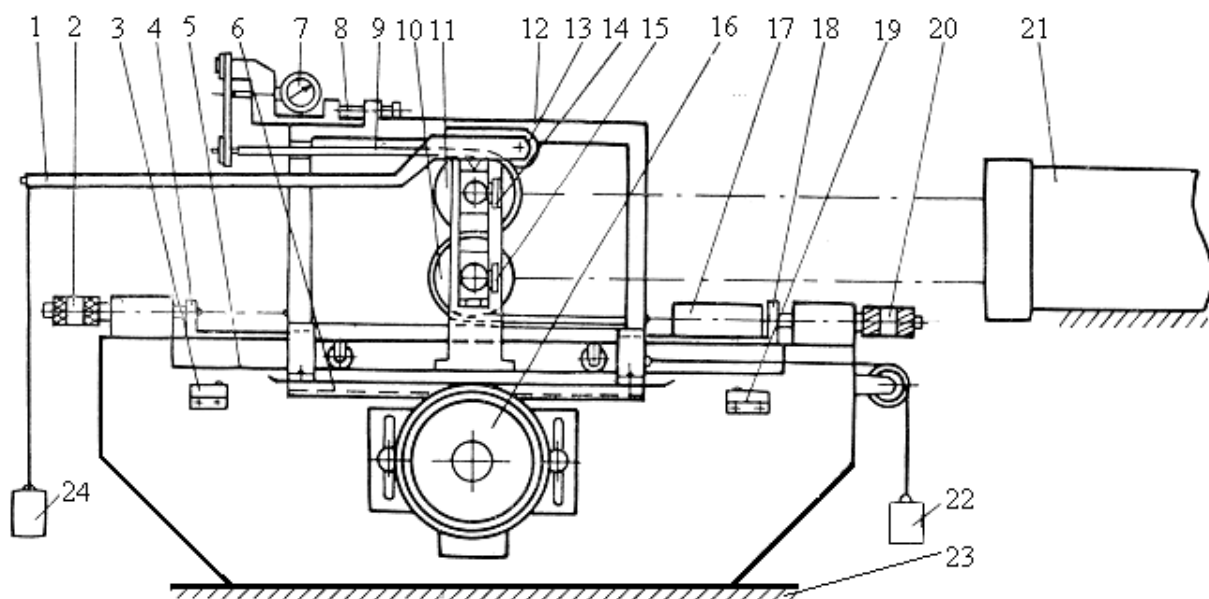
Optiniai kampinių matavimų prietaisai atitinka pačius griežčiausius reikalavimus matavimo tikslumui, yra patikimi darbe ir paprasti aptarnaujant. Šiuos reikalavimus eksperimentui atlikti atitiko ir buvo panaudotas autokolimatorius su optiniu veidrodžiu. Veidrodis arba daugiabriaunė veidrodinė prizmė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

Pagal bazinį RTM tyrimo modelį, pateiktą 8-ame paveiksle buvo pagamintas eksperimentinis įrenginys, skirtas tirti RTM struktūrinius ryšius. Jo schema pateikta 12-ame paveiksle.

Įrenginyje (15 pav.) ritinėliai 10 ir 11 nesiliečia su vežimėlio 12 kreipiančiais paviršiais, o užfiksuoti stovo 13 atramos ir turi vertikalaus persislinkimo galimybę. Lanksti juosta 9, atitinkamu būdu gaubianti ritinėlius 10 ir 11, yra pritvirtinta vežimėlio 12 priešinguose galuose. Ritinėlių apkrova normaline jėga vykdoma svarmeniu 24, prikabintu prie svirties 1. Prie kiekvieno ritinėlio 10 ir 11 pritvirtinta po optinį veidrodį 15 ir 14 atitinkamai. Jais su autokolimatoriumi 21 galima išmatuoti ritinėlių padėtį esant fiksuotiems vežimėlio 12 perslinkimams.

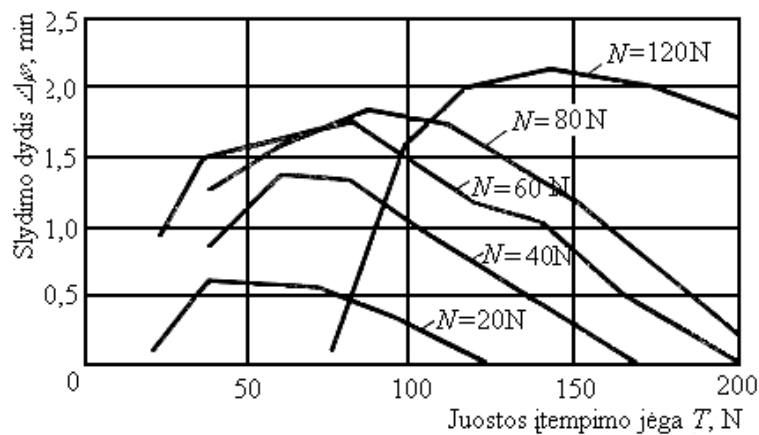
Užsiduodant mechanizmo parametrus, lanksčios juostos įtempimo jėgą, normalinę apkrovą ir vežimėlio perslinkimo dydį, galima nustatyti ritinėlių praslydimo kampo dydį, po to ir reikalingų koeficientų (kinematinio  $\delta$  ir kontaktinio  $m$ ) reikšmes, būdingas konkrečiam RTM.

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 užduotus gaubimo kampus.



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

Norint išsiaiškinti įtempimo ir normalinės reakcijos santykio įtaką buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurie parodė, kad ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\varphi$  dydis didėja augant normalinėms jėgoms  $N$  ir mažėja didėjant juostos įtempimo jėgai  $T$  (16 pav.).

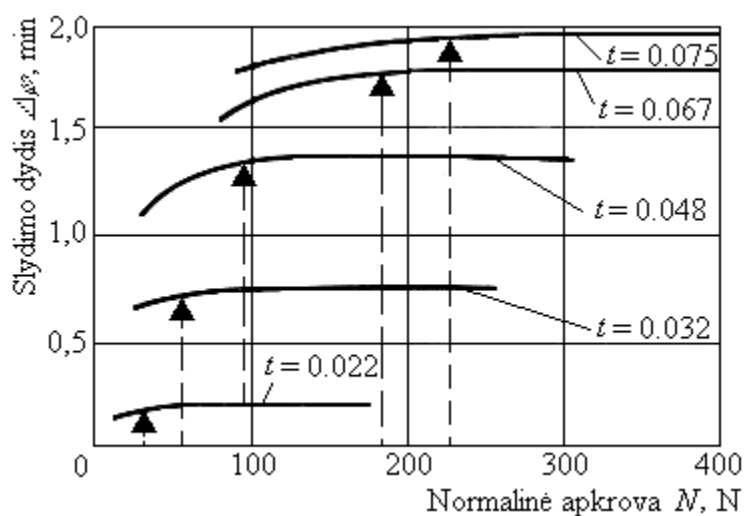


**16 pav.** Ritinėlių slydimo priklausomybės nuo RTM juostos įtempimo, atsižvelgiant į skirtingas elementų sąveikos normalines jėgas

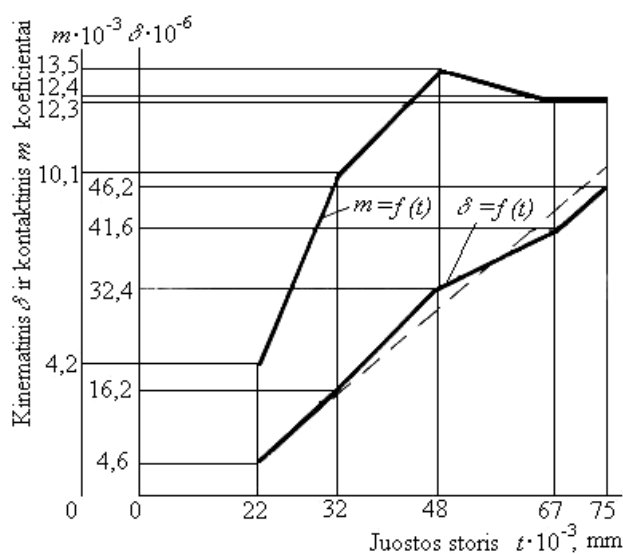
Tuo paaiškinama esminė normalinių jėgų įtaka formuojant struktūrinius ryšius, kurie yra RTM elementų geometrinio slydimo priežastis.

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

Eksperimentinės kreivės parodo ritinėlių slydimo kampo  $\Delta\varphi$  priklausomybę nuo normalinės jėgos  $N$ , esant skirtingiems juostos storiams  $t$ . RTM elementų glaudaus sąlyčio apatinių ribų padėtys kiekvienam juostos pjūviui grafike (17 pav.) išskirtos ženklų ▲ ir punktyrinėmis linijomis.



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



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

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

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

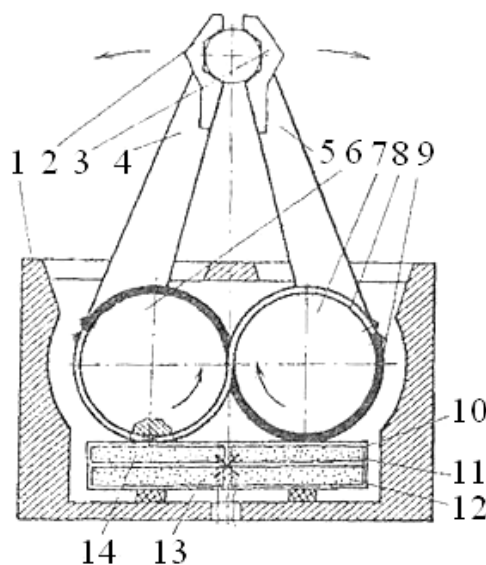
18 paveiksle pateiktos koeficientų reikšmės atitinkamų storių juostai.  $\delta$  ir  $m$  reikšmės gautos, kai ritinėlių spindulys  $R = 10$  mm, o persislinkimo ilgis lygus  $2\pi R$ .

Atliktais eksperimentais nustatyta kinematinio ir kontaktinio koeficientų priklausomybė nuo juostos storio. Iš grafikų, pateiktų 18 paveiksle, galima padaryti išvadą, kad kinematinis koeficientas turi charakterį artimą linijiniam.



## 5. PRAKTINIS TYRIMO REZULTATŲ ĮGYVENDINIMAS

Atlikti teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad egzistuojantį geometrinį slydimą tarp RTM elementų galima kompensuoti į realią konstrukciją įvedus papildomą lanksčią juostą, gaubiančią ritinėlius iš priešingos pusės. Toks principas panaudotas rolamaitinio mikromanipulatoriaus griebte (19 pav.).



**19 pav.** Rolamaitinis mikromanipulatoriaus griebtas [7]: 1 – korpusas; 2,3 – žiaunos; 4,5 – svirtys; 6,7 – svirčių galai; 8,9 – lanksčios juostos; 10 – pjezokeraminė plokštelė; 11,12,13,14 – elektrodai

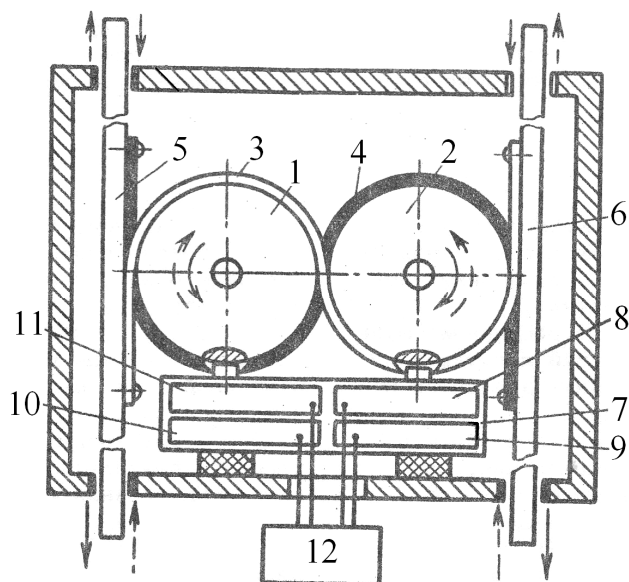
Mikromanipulatoriaus veikia taip:

„Padavus“ aukštadažnę įtampą pjezokeraminės plokštelės 10 elektrodams 12 ir 14 bei elektrodai kitoje plokštelės pusėje, ji ima virpėti ir jos mazginiuose taškuose atsiranda virpesiai elipsine trajektorija. Plokštelė 10, kontaktuodama su cilindrinėms svirčių 4 ir 5 galais 6 ir 7, priverčia juos sukis apie savo ašis priešingomis kryptimis. Todėl žiaunos 2 ir 3 juda į priešingas viena kitos atžvilgiu puses. „Padavus“ aukštadažnę įtampą elektrodams 11 ir 13 bei elektrodai kitoje plokštelės pusėje, jos virpesių kryptis pasikeičia į priešingą. Tai leidžia reversuoti svirčių 4 ir 5 judėjimo kryptį. Kadangi kiekviena iš juostų 8 ir 9 savo galais yra pritvirtinta prie svirčių 4 ir 5 cilindrinėms galų 6 ir 7 ir gaubia tuos galus kryžmai, tai vienos svirties galo sukimasis priverčia sukis kitos svirties galą.

Dviejų juostų, gaubiančių ritinėlius iš priešingų pusių, panaudojimas panaikina geometrinį praslydimą mechanizme, be to, pjezokeraminė plokštelė sukelia sukimo virpesius iš

karto abiem cilindriniamis svirčių galams ir tuo užtikrina visišką sinchroniškumą suspaudžiant ir išskeičiant mikromanipuliacijos žiaunas.

Tokią patį konstravimo principą galima panaudoti kuriant rolamaitinius vykdomuosius įtaisus (RVĮ). 20-ame paveiksle parodyta tokio RVĮ – linijinio variklio, kuriame lanksčių juostų galai tvirtinami ne prie ritinėlių, o prie slankiklių, schema.



**20 pav.** RVĮ – linijinis variklis [8]: 1,2 – rotorius; 3,4 – lanksti juosta; 5,6 – slankiklis; 7 – pjezoelementas su sudalintais elektrodais 8-11; 12 – valdymo blokas

Tokiu dviejų juostų jungimu su slankikliais ne tik išvengsime geometrinio praslydimo tarp mechanizmo elementų, bet ir užsitikrinsime sinchronišką dviejų rotorių priešingos sukimosi krypties ir dviejų slankiklių vienos krypties judesius.

## IŠVADOS

Atlikta juostinių ritininių rolamaito ir skrolerio tipo mechanizmų (atitinkamai RTM ir STM) konstrukcinė analizė. Nustatyta, kad RTM ir STM turi bendrą konstrukcinę savybę – juose visi elementai tarpusavyje liečiasi tik per lanksčią juostą. Išnagrinėjus juostinių ritininių rolamaito ir skrolerio tipų mechanizmų ypatumus, pastebėta, kad šie mechanizmai savo ypatumais labai panašūs, taigi, galima daryti išvadą, kad skrolerio tipo mechanizmai yra rolamaito mechanizmų modifikacija, viena jo versijų. Pateikta šių juostinių ritininių mechanizmų klasifikacija.

Siekiant išaiškinti struktūrinių ryšių įtaką kinematiniam RTM tikslumui kontaktinėse zonose, buvo sudaryta bazinio objekto schema ir ištyrinėta. Teoriniais tyrimais nustatyta:

1. RTM egzistuoja kinematiškai negrįžtamas mechanizmo elementų geometrinis slydimas, į kurio dydį veikia lanksčios juostos storis.

2. Geometrinį slydimą tarp RTM elementų galima kompensuoti į realią konstrukciją įvedus papildomą lanksčią juostą, gaubiančią ritinėlį iš priešingos pusės.

Pagal bazinį RTM tyrimo modelį buvo pagamintas eksperimentinis įrenginys, skirtas tirti RTM struktūrinius ryšius. Nustatyta, kad, esant skirtingiems juostos storiams, ritinėlių slydimo kampo dydis didėja augant normalinėms jėgoms ir mažėja didėjant juostos įtempimo jėgai.

Pateiktas teorinio ir eksperimentinio tyrimo išvadų praktinio įgyvendinimo realiose konstrukcijose pavyzdys.

**LITERATŪRA**

1. **D.F. Wilkes**, 1967, Rolamite: A New Mechanical Design Concept.-Research Report SC-RR-67-656 A, Sandia Laboratories, December.-223p.
2. **D.F. Wilkes**, 1968, Rolamite: A New Mechanism.-Mechanical Engineering. April, v.90, No 4, p.11-29.
3. **K. Ragulskis, R.V. Ulozas**, Juostos traukimo mechanizmas. TSRS išradimas Nr. 426239
4. **K. Ragulskis, R.V. Ulozas, N. Bakai, A. Palevičius**, 1990, Mechanisms of rolamite type (in Russian). -Vilnius, Mokslas, 200 p.
5. Scroller wheel. 1999, Prieiga per internetą <http://www.ids.bc.ca/scroller/>
6. **R.V. Cadman**, 1969, Rolamite – Geometry and Force Analysis. Journal of Engineering for Industry. Trans. ASME, Ser.B, Feb., v.91, No 1, p. 185-191.
7. **C.M. Percival, F.R. Norwood**, 1969, A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamic Response of Rolamite. -Trans. ASME, Ser.B., v.91, No 1, p. 235-239.
8. Ulozas R. V. , 2007, Teoretinė in eksperimentinė analiza dinamikos mechanizmų Rolamite –A Theoretical and Experimental Investigation of the Dynamics of Rolamite-Type Mechanisms. Strojniški vestnik.Journal of mechanical Engineering. No53(1). P.26-47

## **PRIEDAI**