

**MECHANICAL AND ELEKTRICAL IDENTIFICATION OF RUBBER PARAMETERS****GUMIJAS MEHĀNISKO UN ELEKTRISKO PARAMETRU IDENTIFIKĀCIJA**

**Andris Martinovs**, *lecturer, doctoral studies*  
*Riga Technical University, Institute of Mechanics,*  
*Rezekne Higher Education Institution,*  
*Address: 76 Atbrīvošanas aleja, LV 4600, Rēzekne, Latvia*  
*E-mail: andris@ru.lv*

*Atslēgas vārdi: gumija, dielektriskā caurlaidība, mehāniskās īpašības, mākslīgā novecošana*

**1. Ievads**

Gumijas izstrādājumi ekspluatācijas laikā ir pakļauti novecošanai, kā rezultātā izmainās gumiju raksturojošie parametri, pasliktinās tās mehāniskās un elektriskās īpašības. Dažādu inženiertehnisko jautājumu risināšanā ir nepieciešams noteikt šos parametrus un prognozēt to maiņu novecošanas procesā. Pievilcīgas būtu tādas parametru noteikšanas metodikas, kas ir maksimāli vienkāršas, ērtas, viegli automatizējamas, īsā laikā realizējamas un paraugus nesagraujošas.

Darba mērķis ir izstrādāt gumijas dielektriskās caurlaidības noteikšanas metodiku, izpētīt šī parametra izmaiņu novecošanas procesā, kā arī atrast sakarību starp dielektriskās caurlaidības un mehānisko parametru (izturības robeža, maksimālā deformācija, paliekošā deformācija, viskozitāte, maksimālā bojājumu pakāpe, cietība) izmaiņu novecošanas procesā.

**2. Eksperimentos izmantojamā gumija**

Mehānisko un elektrisko parametru noteikšanas eksperimentos tiek izmantota Krievijā ražotā plātņveida gumija ГООТ 4754 (vieglo automobiļu kamera; viena virsma gluda, otra - rupja) ar aptuveno biezumu 2 mm.

### 3. Mākslīgās novecošanas veikšana

Gumijas novecošanas procesus var paātrināt, izmantojot mākslīgo novecošanu. Darbā šim nolūkam tiek izmantota gumijas karsēšana termostatā 85<sup>0</sup>C un 100<sup>0</sup>C temperatūrā ar dabisku gaisa pieplūdi [1]. Darbā izmantotais karsēšanas laiks paraugiem 12, 26, 80 un 168 stundas, kā arī elektrisko īpašību pētīšanai papildus tiek izmantoti paraugi ar 56 un 96 stundu ilgu karsēšanas laiku. Paraugi tiek izkārtoti uz plauktiņa tā, lai tiem varētu brīvi piekļūt gaiss. Nav pieļaujama gumijas paraugu saskare ar priekšmetiem, kas izgatavoti no vara. Pēc mākslīgās novecošanas paraugi pirms mērījumu veikšanas jāiztur normālos klimatiskos apstākļos 23±2<sup>0</sup>C temperatūrā un 50±6% relatīvajā mitrumā ne mazāk kā 16 stundas un ne ilgāk kā 6 diennaktis [1].

### 4. Mehānisko parametru noteikšana

Stiepes diagrammu uzņemšanai tiek izmantoti paraugi ar darba zonas garumu 25 mm, platumu 4 mm, biezumu 2±0,2 mm, kopējo garumu 75 mm un sākotnējās mērīšanas garumu 20 mm (atbilstoši DIN 53504) [2]. Stiepes pārbaude notiek ar konstantu ātrumu 0,75 mm/s. Izturības robeža tiek rēķināta attiecībā pret darba zonas šķērsriezuma laukumu F<sub>0</sub> nedeformētā stāvoklī.

Paliekošā deformācija ε<sub>3</sub> tiek noteikta laika momentā, kad ir pagājusi viena stunda pēc parauga sagraušanas.

Cietības mērīšanai tiek izmantota Rokvella iekārta, B skala, 100 kgf slodze, 10 mm tērauda lodīte, 4 mm biezs pētāmās gumijas slānis (2 kārtas pa 2 mm).

Viskozitātes koeficienta η<sub>3</sub> noteikšanai lieto formulu

$$\eta_3 = \frac{\int_0^{t^*} \sigma \cdot dt}{\varepsilon_3}, \quad (1)$$

kur mehāniskais spriegums

$$\sigma = \frac{P \cdot (1 + \varepsilon)}{F_0}, \quad (2)$$

P - stiepes spēks, ε - deformācija, t\* - nepieciešamais laiks parauga sagraušanai stiepes pārbaudē. Integrālis izteiksmē (1) tiek aprēķināts skaitliski, izmantojot eksperimentāli iegūto funkcijas σ=σ(t) grafiku.

Maksimālā bojājumu pakāpe stiepes gadījumam

$$C = \int_0^{t^*} \sigma \cdot \dot{\varepsilon}_3 \cdot dt, \quad (3)$$

kur punkts virs ε<sub>3</sub> nozīmē paliekošās deformācijas izmaiņas ātrumu. Tā kā σ = η<sub>3</sub> · ε̇<sub>3</sub>, tad

$$C = \frac{\int_0^{t^*} \sigma^2 \cdot dt}{\eta_3}. \quad (4)$$

Integrāli pēdējā izteiksmē aprēķina skaitliski, izmantojot grafiku σ<sup>2</sup>=σ<sup>2</sup>(t).

1. tabula. Mehānisko parametru izmaiņa novecošanas procesā

		0h	12h	26h	80h	168h
Izturības robeža $\sigma_i$ , MPa	100 <sup>0</sup> C	19.4	19.2	18.3	15.7	13.5
	85 <sup>0</sup> C	19.4	20.5	19.9	19.6	18.0
Maksimālā deformācija $\varepsilon_{\max}$	100 <sup>0</sup> C	6.96	6.39	5.80	4.92	3.98
	85 <sup>0</sup> C	6.96	6.58	6.41	6.06	5.58
Paliestošā deformācija $\varepsilon_3$	100 <sup>0</sup> C	0.276	0.240	0.192	0.164	0.116
	85 <sup>0</sup> C	0.276	0.248	0.240	0.234	0.192
Cietība, nosacītās vienībās	100 <sup>0</sup> C	45.5	53.9	48.3	45.0	42.3
	85 <sup>0</sup> C	45.5	37.7	44.2	43.0	45.5
Viskozitātes koef. $\eta_3 \times 10^4$ MPa·s	100 <sup>0</sup> C	3.68	3.56	3.68	2.67	2.49
	85 <sup>0</sup> C	3.68	3.88	3.71	3.39	3.85
Maks. bojājumu pakāpe C, MPa	100 <sup>0</sup> C	25.9	19.3	14.2	8.92	4.64
	85 <sup>0</sup> C	25.9	22.4	20.7	19.1	14.3

Atkarībā no karsēšanas laika un temperatūras ir iegūti 1. tabulā attēlotie rezultāti. Katrs tabulā dotais rezultāts raksturo vidējo vērtību no 6 mērījumiem, cietības gadījumā - no 12 mērījumiem. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka izturības robeža, maksimālā deformācija, paliestošā deformācija, maksimālā bojājumu pakāpe gumijas novecošanas gaitā samazinās; jo augstāka temperatūra, jo samazināšanās tempi ir ātrāki. Karsēšanas sākuma periodā pie 85<sup>0</sup>C vērojama neliela izturības robežas palielināšanās. To var izskaidrot ar vulkanizācijas procesa turpināšanos sākotnējā laika periodā. Iespējams, ka pie 100<sup>0</sup>C arī bija šāds izturības robežas pieaugums, bet tas ir noticis pirmajās 12 stundās un tāpēc eksperimentāli nav fiksēts. Pēc vulkanizācijas procesa pilnīgas pabeigšanas ar tam atbilstošo maksimālo izturības robežu, sākas lielmolekulāro savienojumu sašķelšanās procesi, kas samazina izturību. Cietību un viskozitāti pēc eksperimentālajiem datiem dotajā karsēšanas laika periodā var uzskatīt par nemainīgiem. Šī pēdējā secinājuma pārbaudei tomēr būtu nepieciešamas veikt papildus pētījumus. Gumijas izstrādājumu kalpošanas laika prognozēšanā var izmantot parametrus, kas novecošanas procesā būtiski mainās. Tie ir izturības robeža, maksimālā deformācija, paliestošā deformācija, maksimālā bojājumu pakāpe, iespējams arī dinamiskais modulis un zudumu tangenss. Diemžēl šo parametru noteikšana ir darbietilpīgs process.

## 5. Elektrisko parametru noteikšana

### 5.1. Gumijas elektrisko parametru izvēle

Tehniski daudz ātrāk realizējami un vieglāk automatizējami ir elektriskie mērījumi. Gumiju raksturojošie elektriskie parametri ir pretestība un dielektriskā caurlaidība. Gumijai kā dielektriķim ir liela pretestība (M $\Omega$ , G $\Omega$ ). Lai to precīzi noteiktu, saskaņā ar [3] ir jāizmanto 500 V sprieguma avots. Izņēmuma gadījumā tas nedrīkst būt mazāks par 40 V, bet tad precizitāte būs krietni sliktāka. Dielektriskās caurlaidības noteikšanai var izmantot kapacitātes mērītāju, piemēram, firmas Wavetek CR50, kuram ir 9 V barošanas spriegums, 820 Hz testa frekvence un 0,6% mērījumu kļūda. Salīdzinot šos datus var secināt, ka izdevīgāk ir mērīt kapacitāti, respektīvi, dielektrisko caurlaidību.

## 5.2. Paraugu sagatavošana

No plātņveida gumijas tiek izgriezti taisnstūrveida ar izmēriem 40×80 mm vai riņķveida ar diametru 55 mm paraugi. Saskaņā ar [3] parauga abas virsmas nepieciešams attīrīt ar ūdenī samitrinātu bentonītu un noskalot ar destilētu ūdeni. Virsmas jāattīra rūpīgi, jo pat niecīga nosēdumu (tauki, talks u.c.) kārtiņa uz tās var būtiski ietekmēt elektrisko mērījumu precizitāti. Šajā darbā bentonīta vietā tiek izmantots Līvānu māls. Virsmas nedrīkst saskrāpēt, slīpēt un pulēt. Nedrīkst izmantot ķīmiskos tīrītājus. Pēc attīrīšanas paraugi tiek žāvēti gaisā normālos klimatiskos apstākļos vismaz 16 stundas, bet ne ilgāk kā 6 diennaktis, vai arī pēc vienu stundu ilgas žāvēšanas tiek ievietoti termostatā un pakļauti mākslīgai novecošanai.

## 5.3. Standartos paredzami elektrodi

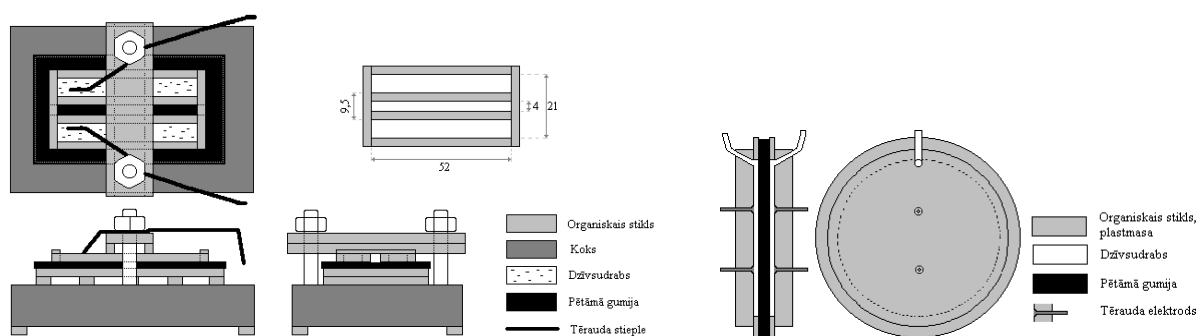
Parauga virsmas tīrība un izmantojamo elektrodu pareiza izvēle ir galvenais nosacījums labu eksperimentālo rezultātu iegūšanā. Literatūras avotā [3] tiek piedāvāti šādi iespējamie elektrodu veidi: virsmas pārklāšana ar strāvu vadošu sudraba laku, koloidālu grafitu vai strāvu vadošu šķidrumu. Tiek piedāvāta šāda šķidro elektrodu receptūra: bezūdens polietilēnglikols (molmasa 600) - 800 masas daļas, ūdens - 200 masas daļas, piemērots saslapinātājs - 1 masas daļa un kālija hlorīds - 10 masas daļas.

Diemžēl Latvijas uzņēmumos, kas nodarbojas ar ķīmisko reaktīvu un krāsu tirdzniecību, strāvu vadošas lakas nav pārdošanā. Grafitā smērvielas oglekļa atomi var salīdzinoši viegli iespiesties mikroporās, difundēt gumijas virsējā slānī un izmainīt tā elektriskās īpašības. Tas var radīt problēmas, ja paraugu paredzams izmantot vairākkārtīgi, piemēram, vēlreiz mēģināt attīrīt tā virsmu, pakļaut paraugu kārtējai mākslīgai novecošanai, pēc kā atkal veikt elektriskos mērījumus. Šajā gadījumā nebūs iespējams panākt pilnīgu virsmas tīrību, tātad- arī mērījumu pareizību. Polietilēnglikola iegāde arī rada problēmas. Šo iemeslu dēļ darbā tiek izmantoti citi elektrodu veidi.

## 5.4. Dzīvsudraba elektrodi

Dzīvsudraba elektrodus var izmantot kā viensusējos (planāros), tā divpusējos.

Vienpusējo elektrodu sistēma redzama 1. attēlā. Veidne dzīvsudraba elektrodiem tiek izgatavota no 3 mm bieza organiskā stikla, kam, salīdzinājumā ar gumiju, ir maza dielektriskā caurlaidība. Veidnes divi taisnstūrveida kontūri, kuros tiek ieliets dzīvsudrabs, no augšas ir savienoti ar divām 3 mm platām un 1 mm biežām organiskā stikla plāksnītēm. Starp šiem kontūriem ir 4 mm plata gaisa sprauga. Uz koka paliktņa, kurā iestiprinātas divas 5 mm diametra skrūves, atrodas organiskā stikla galdinš, kam virsū tiek likts pētāmās gumijas paraugs. Uz parauga novieto veidni, ko no augšas viegli piespiež ar organiskā stikla Π profila plāksnīti. Uz katras skrūves tiek uzlikts cilpā saliekta tērauda stieples pievadelektrods. Pēc tam, kad visa šī sistēma no augšas fiksēta ar divu uzgriežņu palīdzību, ar medicīniskās šļirces palīdzību veidnēs tiek iepildīts dzīvsudrabs. Pievadelektrodu viens gals ir iegremdēts dzīvsudrabā, otrs - pieslēgts pie elektriskā mērinstrumenta. Gumijas paraugu nedrīkst deformēt, tāpēc uzgriežņi tiek pieskrūvēti ļoti viegli - tik daudz, lai dzīvsudrabs neieplūstu spraugā starp veidni un gumiju. Caurspīdīga materiāla izmantošana veidnei ir nepieciešama, lai pilnībā varētu redzēt dzīvsudraba elektrodu formu un lai būtu pārlicība, ka dzīvsudrabs nav iespieties spraugās starp gumiju un veidni. Elektrodu sistēma tiek ievietota vanniņā, kas nodrošina pilnīgu dzīvsudraba savākšanu pēc mērījumu veikšanas.



1.attēls. Planārie dzīvsudraba elektrodi

2.attēls. Divpusējie dzīvsudraba elektrodi

Divpusējo elektrodu (2. attēls) izgatavošanai tiek izmantoti divi 1 mm biezi plastmasas gredzeni. Gredzenam no vienas puses tiek pielīmēts organiskā stikla riņķis, kurā iestiprināti divi tērauda elektrodi ar paplašinājumu vienā galā un plastmasas caurulīte ar iekšējo diametru 1,5 mm. Šādi izveidotās dzīvsudraba elektrodu veidnes tiek pielīmētas pētāmā gumijas parauga abās pusēs. Centrēšanu atvieglo tas, ka gredzenu diametrs ir nedaudz lielāks par gumijas parauga diametru. Izmantojot medicīnisko šļirci, dzīvsudrabs caur plastmasas caurulīti tiek iepildīts abās spraugās starp veidni un gumijas paraugu. Dubultie tērauda pievadelektrodi tiek izmantoti, lai varētu kontrolēt laba elektriskā kontakta esamību starp tēraudu un dzīvsudrabu. Mērījumu veikšanas laikā elektrodiem jāatrodas vertikālā stāvoklī.

Salīdzinājumā ar planāro elektrodu sistēmu divpusējo elektrodu izmantošana vienam mērījumam prasa krietni ilgāku laiku. Parauga izmantošana otrreizējiem mērījumiem divpusējo elektrodu gadījumā ir problemātiska, jo, tā kā dzīvsudrabs rada salīdzinoši lielu hidrostatisko spiedienu, tad gumijas līmēšanai pie veidnēm jāizmanto spēcīgas līmes, kuru notīrīšana no parauga virsmas praktiski nav iespējama. Divpusējo elektrodu priekšrocība ir tāda, ka ar tiem var precīzāk noteikt gumijas dielektriskās caurlaidības vai elektriskās pretestības absolūtās vērtības. Vienpusējo elektrodu gadījumā šo parametru aprēķināšanai jāizmanto konformo attēlu metode [4], kura diemžēl ienes papildus kļūdas dielektriskās caurlaidības un elektriskās pretestības absolūto vērtību noteikšanā.

Ņemot vērā augstāk minēto, var izdarīt šādu secinājumu. Elektrisko parametru izmaiņas procesu pētīšanā un gadījumos, kad salīdzinoši ātri jāsavāc liels eksperimentālo datu daudzums, izdevīgāk izmantot vienpusējos elektrodus. Mērījumus ar divpusējiem elektrodiem var izmantot kontroles nolūkos un ģeometrisko koeficientu skaitliskās vērtības precizēšanai konformo attēlu metodē. Šādu mērījumu skaits var būt salīdzinoši neliels. Divpusējo elektrodu izmantošana ir nepieciešama gumijām ar nelielu (tāda pati kā veidņu materiālam) dielektrisko caurlaidību. Galvenais dzīvsudraba elektrodu izmantošanas trūkums ir to toksiskums.

## 5.5. Citi elektrodu veidi

NaCl (1%) šķīdums ūdenī nav toksisks. Šo elektrodu trūkums ir tāds, ka šķīdums viegli iespiežas spraugās starp gumiju un elektrodu veidni. Vienpusējos elektrodus (1. attēls) var izmantot tikai tad, ja veidne tiek pielīmēta pie gumijas virsmas. Elektrolīta molekulas iespiežas gumijas virsējos slāņos, kā rezultātā palielinās šķidro elektrodu saskares laukums. Tas ir viens no iemesliem mērāmās kapacitātes pastāvīgam pieaugumam. Gumijas paraugu vairākkārtēja izmantošana ir problemātiska, jo nav garantijas, ka mazgāšanas laikā gumijas virsma pilnībā tiks atbrīvota no sāls joniem.

Cinka elektrodi. Tiek izmantota krāsa, kas satur 99% cinka. Divpusējie elektrodi aerosola veidā tiek uzpūsti notīrītai un nožuvušai gumijas virsmai. Tiek uzklātas trīs cinka kārtas. Pirms trešā kārtā pilnībā izžuvusi, tai tiek uzklāta apdedzinātas alumīnija folijas kārtā. Pēc uzklājuma nožūšanas gumijas parauga sānu malas tiek noslīpētās, lai likvidētu iespējamo elektrisko kontaktu starp abu parauga pušu elektrodiem. Trūkums - salīdzinoši liela ( $\approx 1 \text{ M}\Omega$ ) pārklājuma elektriskā pretestība, kas difūzijas procesa ietekmē laikā gaitā samazinās. Iegūtie rezultāti nav viennozīmīgi.

Tērauda plašu elektrodi. Pētāmais paraugs 50 mm diametrā tiek iespiests starp tāda paša izmēra tērauda elektrodiem un noslogots ar 2 kg slodzi. Ļoti būtisku iespaidu uz rezultātu pareizību atstāj gaisa sprauga starp tēraudu un gumiju. Ja dielektriskā caurlaidība gumijai ir lielāka par 10, tad šo elektrodu izmantošana kļūst problemātiska. Gumijas virsmai jābūt maksimāli gludai, lai gaisa spraugas biežums būtu minimāls. Gaisa spraugas ietekmi var mazināt, ja elektrodi iepriekš tiek samitrināti ar strāvu nevadošu šķidrumu, kam ir liela dielektriskā caurlaidība.

Gaisa kondensators. Iebīdot telpā starp diviem plakaniem tērauda elektrodiem gumijas paraugu, var konstatēt, ka šāda gaisa kondensatora kapacitāte palielinās. Ja tērauda plašu un gumijas parauga diametrs ir 50 mm, parauga biežums 2 mm, bet atlikusī gaisa sprauga starp paraugu un platēm ir 0,1-0,2 mm bieza, tad šāda kondensatora kapacitāte aptuveni ir 60-120 pF. Šim pašam kondensatoram bez gumijas kapacitāte ir 10 pF, kas jau kļūst salīdzināma ar kapacitātes mērītāja CR50 absolūto kļūdu – 6 pF. Aprēķinos ir jāievēro gaisa sprauga starp gumiju un tērauda platēm. Precīzi noteikt šīs spraugas biežumu ir problemātiski. Dielektriskās caurlaidības kļūda var sastādīt pat 500 un vairāk procentu.

Alumīnija līmlentas elektrodi. Izmantojot būvmateriālu veikalos pārdodamo alumīnija līmlentu, var izveidot gumijas virsmai cieši pieguļošus elektrodus. Diemžēl kapacitātes mērījumiem ir ļoti spēcīga izkliede, jo salīdzinoši plānā (0,1 mm) līmes kārtiņa rada ļoti būtisku iespaidu uz mērījumu precizitāti. Šos elektrodus varētu izmantot gumijām, kuru dielektriskā caurlaidība ir salīdzināma ar līmes dielektrisko caurlaidību.

Vakuumā uzputinātie alumīnija elektrodi. Tiem vajadzētu nodrošināt labu kontaktu ar gumijas virsmu, pie nosacījuma, ja virsma ir rūpīgi attīrīta. Trūkums - nepieciešama uzputināšanas iekārta.

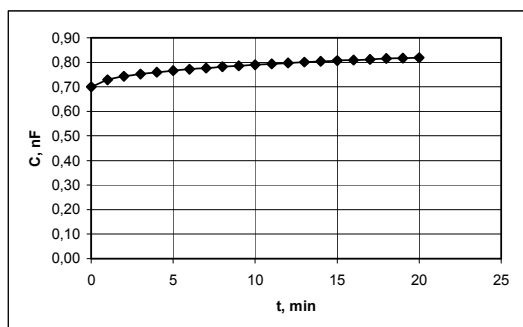
No visiem apskatītajiem elektrodu veidiem Latvijas apstākļos vispieejamākie un optimālākie izrādās dzīvsudraba elektrodi, protams pie nosacījuma, ka tiek ievērota drošības tehnika darbā ar dzīvsudrabu.

## 5.6. Dielektriskās caurlaidības mērījumu rezultāti

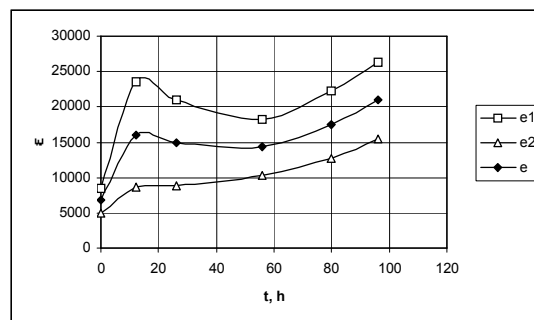
Kapacitāte tiek mērīta ar firmas Wavetek kapacitātes un pretestības mērītāju CR50. Ir konstatēts, ka neatkarīgi no izmantoto elektrodu veida un gumijas novecojuma pakāpes kapacitāte mērīšanas laikā gaitā palielinās (3. attēls). Pat pēc 6 stundu ilgiem mērījumiem ir konstatēts, ka kapacitātes pieaugšana turpinās, tāpēc visi tālāk dotie rezultāti atbilst fiksētam laika momentam- 2 minūtēm kopš mērinstrumenta ieslēgšanas brīža.

Ir konstatēts, ka dielektriskā caurlaidība  $\epsilon$  pētāmajai gumijai atkarībā no karsēšanas laika termostatā palielinās (4. attēls). Šī tendence ir pārbaudīta arī ar gaisa kondensatoru, starp kura platēm tiek ievietoti gumijas paraugi ar dažādu novecojuma pakāpi. Tas nozīmē, ka maksimālās novecošanas procesā, pārtrūkstot molekulārajām ķēdēm, atbrīvojas lādētas daļiņas vai molekulāras grupas, kas ārējā elektriskā lauka iedarbībā nodrošina gumijas paraugā augstāku polarizācijas pakāpi, respektīvi, lielāku dielektrisko caurlaidību. Ar  $e_1$  apzīmēta dielektriskā caurlaidība, kas iegūta, liekot vienpusējos Hg elektrodus uz gumijas parauga gludās virsmas,  $e_2$ -

atbilst rupjai virsmai,  $e$  - vidējā vērtība paraugam. Novecošana tiek veikta  $100^{\circ}\text{C}$  temperatūrā; katram eksperimentālajam punktam atbilst mērījumi sešiem paraugiem.



3.attēls. Kapacitātes izmaiņa mērīšanas laikā



4.attēls. Dielektriskās caurlaidības izmaiņa novecošanas procesā

Dotajai gumijai, kas nebija pakļauta novecošanai, izmantojot divpusējos dzīvsudraba elektrodus, 8 mērījumiem iegūtās dielektriskās caurlaidības vērtības bija robežās no 933 līdz 5222. Izmantojot vienus pusējos dzīvsudraba elektrodus, dielektriskās caurlaidības vērtība pētāmiem 12 paraugiem bija robežās no 3458 līdz 10851. Tas nozīmē, ka dielektriskā caurlaidības, kas iegūtas ar vienus pusējiem un divpusējiem dzīvsudraba elektrodiem, ir ar vienādu kārtu, tātad tās ir salīdzināmas. Jāpiebilst, ka divpusējo elektrodu gadījumā nebija veikta rūpīga virsmas attīrīšana. Novēršot šo trūkumu, ar abām metodēm iegūtie rezultāti var būt daudz tuvāki.

## 6. Elektrisko mērījumu izmantošanas iespējas

Eksperimentāli ir konstatēts, ka novecošanas procesā izturības robeža, maksimālā deformācija, paliekošā deformācija, maksimālā bojājumu pakāpe samazinās, bet dielektriskā caurlaidība pieaug. Eksperimentālos rezultātus var aproksimēt ar atbilstošām matemātiskām funkcijām un atrast korelāciju starp mehāniskiem un elektriskiem raksturlielumiem. Tas dod iespēju viskozi elastīgu materiālu fizikālajās sakarībās mehāniskos parametrus raksturojošās funkcijas aizstāt ar elektrisko parametru funkcijām. Tātad mehānisko mērījumu vietā var veikt elektriskos mērījumus. Piemēram, sakarību starp spriegumu un deformāciju stacionāru harmonisku svārstību gadījumā var izteikt šādā veidā [5]:

$$\sigma(t) = |G_{\alpha}^*(i\omega)| \cdot \varepsilon_0 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}, \quad (5)$$

kur  $G_{\alpha}^*(i\omega)$ - kompleksais jeb dinamiskais modulis, kas ir kompleksa mehānisko svārstību frekvences  $\omega$  funkcija,  $\varepsilon_0$ - svārstību amplitūda,  $\tan\varphi$ - zudumu tangenss,  $\alpha=1$  atbilst bīdes deformācijai,  $\alpha=2$  - tilpuma deformācijai. Tā kā novecošanas procesā vairums mehānisko parametru izmainās, tad diezgan droši var prognozēt, ka jāmainās arī dinamiskajam modulim un zudumu tangensam. Ja tiek atrastas funkcionālas sakarības starp dinamisko moduli un dielektrisko caurlaidību  $G^*(i\omega)=f_1^*(\varepsilon)$ , un zudumu leņķi, un dielektrisko caurlaidību  $\varphi=f_2(\varepsilon)$  pie dotās mehānisko svārstību frekvences  $\omega$ , tad fizikālā sakarība (5) pārvēršas par

$$\sigma(t) = |f_1^*(\varepsilon, \omega)| \cdot \varepsilon_0 \cdot e^{i(\omega t + f_2(\varepsilon))}. \quad (6)$$

Šo sakarību var izmantot gumijas izstrādājumu tālākās uzvešanās aprēķināšanā vai kalpošanas laika prognozēšanā.

Maksimālā bojājumu pakāpe  $C$  tiek izmatota gumijas izstrādājumu kalpošanas laika prognozēšanas metodikās [6], [7]. Zinot funkcionālo sakarību starp maksimālo bojājuma pakāpi

un dielektrisko caurlaidību  $C=C(\varepsilon)$ , gumijas izstrādājumu kalpošanas laika prognozēšanā mehānisko mērījumu vietā var izmantot elektriskos mērījumus.

Literatūrā [8] viskozi elastīgu materiālu aprakstam tiek izmantotas integrālo vienādojumu kodolu funkcijas, kas atkarīgas no laika un tiek noteiktas mehānisko eksperimentu rezultātā. Ja izdotos atrast funkcionālo sakarību starp kodolu funkcijām un dielektrisko caurlaidību, tad mehānisko mērījumu vietā varētu izmantot elektriskos mērījumus.

Var minēt arī šādu piemēru. Lai noskaidrotu automašīnas riepas vai cita gumijas izstrādājuma novecošanas (maksimālo bojājumu) pakāpi, var izmantot dielektriskās caurlaidības mērījumus. Šim nolūkam uz gumijas detaļas jāuzklāj planārie elektrodi (tos var iestrādāt jau gumijas detaļas ražošanas procesa laikā rūpnīcā), jāizmēra kapacitāte un jāaprēķina dielektriskā caurlaidība. Šādus mērījumus ir jāveic tikko saražotai detaļai, kā arī pēc nepieciešamības ekspluatācijas laika gaitā. Pēc dielektriskās caurlaidības izmaiņas, var spriest par gumijas novecojuma pakāpi, par tās mehānisko īpašību izmaiņām, kā arī par perspektīvo kalpošanas ilgumu. Protams, gumijas veidam ir jābūt zināmai funkcionālajai sakarībai starp dielektrisko caurlaidību un interesējošiem fizikālajiem parametriem, kā arī dielektriskās caurlaidības un mehānisko parametru kritiskajām vērtībām, kuras sasniedzot, gumijas izstrādājums tālāk nav lietojams. Šo informāciju ražotājs var iegūt savās laboratorijās, izmantojot novecošanu paātrināto eksperimentus. Ļoti svarīgi, lai izstrādājumam visās vietās būtu vienāds gumijas sastāvs un vienādi vulkanizācijas nosacījumi. Pretējā gadījumā elektriskie mērījumi dažādās detaļas vietās var ļoti spēcīgi atšķirties.

## Literatūra

1. DIN 53508 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren // Künstliche Alterung, Oktober 1993.
2. DIN 53504 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren // Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch, Mai 1994.
3. DIN ISO 2878 Elastomere. Antistatische und leitende Erzeugnisse // Bestimmung des elektrischen Widerstandes, Juni 1997.
4. Iljins U., Ziemelis I. Pretestības, kapacitātes un induktivitātes aprēķināšana ar konformo attēlu metodi – Jelgava, LLU, 1997.
5. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости - Москва, Мир, 1974.
6. Губанов В., Мурашка Х. Долговечность резины при эксплуатации // В: Вопросы динамики и прочности, вып. 44, - Рига, 1984 - с. 16-21.
7. Губанов В.В. О расчете долговечности резины // В: Вопросы динамики и прочности, вып. 46, - Рига, 1985 - с. 33-36.
8. Лавендел Э. Расчет резинотехнических изделий - Москва, Машиностроение, 1976 - с. 161-190.



***Martinovs A. Gumijas mehānisko un elektrisko parametru identifikācija***

*Darbā ir izstrādāta gumijas dielektriskās caurlaidības noteikšanas metodika; tiek pētīta dielektriskās caurlaidības un mehānisko parametru - izturības robežas, maksimālās un paliekošās deformācijas, maksimālās bojājumu pakāpes, cietības, viskozitātes izmaiņa novecošanas procesā un meklētas iespējas mehānisko mērījumu aizstāšanai ar elektriskajiem.*

***Martinovs A. Mechanical and electrical identification of rubber parameters***

*A method for determining dielectric permeability of rubber has been developed in the paper. Aging related changes of dielectric permeability, strength limits of mechanic parameters, maximal and residual deformations, maximal damage rate, hardness and viscosity are studied. Possibilities to substitute mechanical measurements by electric ones are investigated.*

***Мартынов А. Идентификация механических и электрических параметров резины***

*Автором разработана методика определения диэлектрической проницаемости резины, исследуются изменения диэлектрической проницаемости и механических параметров - предела прочности, максимальной и остаточной деформации, максимальной степени повреждения, твердости и вязкости в процессе старения; рассматриваются возможности замены механических измерений на электрические.*