

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Transporta un mašīnzinību fakultāte
Mehānikas institūts

Andris MARTINOVŠ

Inženiertehnikas, mehānikas un mašīnbūves
doktora programmas students

**ELASTOMĒRU MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU
PROGNOZĒŠANA UZ PAĀTRINĀTO
EKSPERIMENTU PAMATA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji:

LZA akadēmiķis,
Dr.habil.sc.ing., profesors
E. LAVENDELIS

Dr.sc.ing., profesors
V. GONCA

Rīga 2005

Rēzeknē: RA Izdevniecība, 2005. – 44 lpp.

ISBN 9984 – 779 – 22 – x

Tirāža 50 eks.

Martinovs A. Elastomēru mehānisko īpašību prognozēšana uz paātrināto eksperimentu pamata. Promocijas darba kopsavilkums. - Rīga: RTU, 2005. - 44lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Mehānikas institūta padomes sēdes 2005.gada 19.decembra lēmumu Nr.4

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu nacionālās programmas “Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta “Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

This work has been partly supported by the European Social Fund within the National Programme “Support for the carrying out doctoral study programm’s and post-doctoral researches” project “Support for the development of doctoral studies at Riga Technical University”.

Эта работа выполнена при содействии Европейского социального фонда в рамках проекта “Поддержка развития докторантуры РТУ” национальной программы “Содействие осуществлению программ докторантуры и исследований после нее”.

© Andris MARTINOVŠ „Elastomēru mehānisko īpašību prognozēšana uz paātrināto eksperimentu pamata” – promocijas darba kopsavilkums

© Rēzeknes Augstskola
Atbrīvošanas alejā 90, Rēzeknē, LV 4600
RA Izdevniecība, 2005
Atbrīvošanas alejā 115, Rēzeknē, LV 4601

Autors izsaka visdziļāko pateicību saviem promocijas darba vadītājiem - akadēmiķim, dr.habil.sc.ing., prof. **Egonam Lavendelim** un dr.sc.ing., prof. **Vladimiram Goncam**, RTU Mehānikas institūta direktoram, LZA kor.loc., dr.habil.sc.ing., prof. **Jānim Vībam** un visiem **RTU Mehānikas institūta darbiniekiem** par atbalstu un konstruktīvu kritiku, savam darba devējam - **Rēzeknes Augstskolai**, dr.sc.ing., prof. **Irēnai Silinevičai** un dr.habil.geoloģ., prof. **Gotfrīdam Novikam** par sapratni un atbalstu, **Eiropas Sociālajam fondam** un **Rīgas Tehniskajai universitātei** par sniegto materiālo atbalstu promocijas darba izstrādes laikā projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

Ich möchte mich bei der **Fachhochschule Oldenburg/ Ostfriesland/ Wilhelmshaven** Standort Wilhelmshaven für die Möglichkeit die experimentellen Teile meiner Promotionsarbeit durchzuführen bedanken. Für die Hilfe und Unterstützung bin ich folgenden Professoren und Mitarbeiter der FH O/O/W besonders dankbar: Prof. Dr.-Ing. **Josef Timmerberg**, der Leiterin des AKA Mg. **Andrea Menn**, Prof. **Hanns Grützner**, Prof. Dr. **Götz Strömsdörfer**, Prof. Dr. **Klaus Schmieder**, Prof. Dr. **Bernd Thoden**, Prof. Dr. **Christoph Thoma**, Prof. **Ingo Poth**, Herrn Dipl.-Ing. **Paul Beckmann**, Herrn Dipl.-Ing. **Albrecht Hirt**, Herrn Labor-Ingenieur **Robert Buse**, Herrn **Helmut Schütte**, Frau Dipl.-Ing. **Petra Galleck**, Herrn Dipl.-Ing. **Volker Gottschewski**, Frau **Judith Legrand**.

ANOTĀCIJA

Darbā apskatīti esošie elastomēru izturēšanos aprakstošie matemātiskie modeļi un eksistējošās mehānisko īpašību prognozēšanas metodikas; izstrādāts jauns elastomēru sabrukšanas procesus pie dažādiem slogojuma veidiem raksturojošs matemātisks modelis, kurā vienlaicīgi ar mehāniskiem un siltuma raksturlielumiem, laiku, elastomēru novecošanu ietekmējošiem faktoriem - temperatūru un pievadīto enerģiju, ir iekļauta arī dielektriskā caurlaidība, kā arī empīrisku sakarību veidā iespējams iekļaut īpatnējo pretestību un infrasarkanā staru optisko caurlaidību; izstrādāts tehniskais nodrošinājums un metodika dielektrisko mērījumu veikšanai elastomēru materiāliem; izpētītas mehānisko, elektrisko un optisko parametru izmaiņas novecošanas procesā un konstatētas sakarības starp tiem; izstrādāta uz doto modeli balstīta, eksperimentāli pārbaudīta elastomēru mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodika.

IEVADS

Gumijas izstrādājumi ļoti plaši tiek izmantoti transportā, mašīnbūvē, ūdensapgādē, medicīnā, būvniecībā, elektrotehnikā u.c. tautsaimniecības nozarēs. Eksploatācijas laikā tie ir pakļauti visdažādākajām mehāniskajām slodzēm, temperatūras, starojumu un agresīvu vielu iedarbībai. Minēto faktoru darbība izsauc gumijā fizikāli ķīmiskās pārvērtības, kuru rezultātā pasliktinās tās mehāniskie un elektriskie parametri. Šo parādību sauc par gumijas novecošanu. Risinot konkrētus inženiertehniskos uzdevumus, ir nepieciešams noteikt gumijas mehāniskās un elektriskās īpašības un prognozēt to maiņu novecošanas procesā, kā arī novērtēt gumijas izstrādājumu kalpošanas laiku. Šos jautājumus savos darbos ir pētījuši D.Aneli [30], G.Bartenevs [33], M.Bolotašvili [30], M.Celina [6], A.Donskojs [44], V.Družinins [45], K.Gillens [6], I.Golbergs [37], A.Goldmans [38], V.Gubanovs [39], [40], G.Hameds [9], [10], V.Hričikovs [71], A.Iļjušins [49], E.Lavendelis [53], [54], [65], V.Moskvitins [58], H.Muraška [40], I.Nikitins [59], [60], J.Nikitins [59], [60], K.Sau [24], M.Šaškina [44], J.Zhao [10], J.Zujevs [33], [48] u.c. Analizējot augstākminēto autoru darbus un publikācijas žurnālos „Каучук и резина” un „Rubber Chemistry and Technology”, ir konstatēts, ka gumijas elektrisko īpašību (vadītspēja) izmaiņai novecošanas procesā ir pievērsta visai maza vērība, bet dielektriskās caurlaidības maiņa vispār nav atspoguļota. Tāpēc šajā sakarā tika veikti atbilstoši eksperimenti [16], [19], [55] un noskaidrots, ka atsevišķiem gumijas veidiem novecošanas procesā izmainās dielektriskā caurlaidība, kā arī pastāv sakarība starp mehāniskiem parametriem un dielektrisko caurlaidību. Tas ļāva izdarīt pieņēmumu, ka mehāniskās pārbaudes var aizstāt ar attiecīgiem elektriskajiem mērījumiem. Kā praktiska pielietojuma piemēru šai idejai var minēt Latvijas apstākļos plaši izmantoto atjaunoto autoriepu kvalitātes pārbaudi. Atjaunotajām riepām tiek pievulkanizēts klāt jaunas gumijas protektors, bet sānu borti paliek vecie. Novecojušās gumijas izturība ir krietni zemāka, tāpēc riepas sāni ir visbīstamākā vieta. Iespējamie defekti, kas saistīti ar nekvalitatīvu savienojumu starp veco un jauno gumiju, eksploatācijas gaitā būs viegli konstatējami pēc atslāņojušās gumijas sitieniem pret automašīnas korpusu un ceļa virsmu. Pie tam šajā gadījumā riepa pietiekošu laiku vēl turpinās pildīt savas funkcijas. Savukārt, ja rodas plīsums riepas sānos, gaiss no tās var izplūst vienā mirklī, un tas var radīt nopietnus draudus drošībai uz ceļa. Lai izvairītos no šādām situācijām, būtu nepieciešams zināt, kāda ir konkrētās riepas izturība jebkurā interesējošā laika momentā. Veikt attiecīgas mehāniskās pārbaudes atjaunotās riepās eksploatācijas gaitā ir problemātiski un dārgi. Tā vietā tiek piedāvāts izmantot riepū nesagraujošus elektriskos mērījumus, kurus varētu veikt autoservisos, pat nenoņemot riteni no automobiļa. Pēc

veiktajiem eksperimentiem var secināt, ka nepieciešamā aprīkojuma izmaksas šādiem elektriskiem mērījumiem nav lielas - pašreizējos apstākļos tās sastāda 100-120Ls. Līdzīgas pārbaudes var veikt ne tikai autoriepām, bet arī daudziem citiem elastomēru ražojumiem.

Darba mērķis ir izstrādāt uz dielektriskiem mērījumiem balstītu elastomēru (gumijas) mehānisko īpašību noteikšanas un prognozēšanas ekspresmetodiku.

Zinātniskā novitāte - dielektriskās caurlaidības mērījumu izmantošana elastomēru mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodikās.

Darba galvenie rezultāti: atklāta stohastisko sakarību eksistence starp gumiju raksturojošiem mehāniskiem, elektriskiem un optiskiem parametriem, kas dod iespēju gumijas mehānisko parametru un kalpošanas laika prognozēšanas metodikās izmantot paraugu nesagraujošos, viegli automatizējamus elektriskos un optiskos mērījumus; izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta uz dielektriskās caurlaidības mērījumiem balstīta elastomēru (gumijas) mehānisko īpašību noteikšanas un prognozēšanas ekspresmetodika.

Darba rezultāti ir atspoguļoti vairākās publikācijās:

1. Martinovs A., Gonca V. A rubber fall model for yield deformation// In: International Conference on bionics and prosthetics, biomechanics and mechanics, mechatronics and robotics. - Varna, 2004. - Vol.4. - p. 47 - 50.
2. Мартинов А., Гонца В. Исследование механических свойств и диэлектрической проницаемости резины в процессе старения // In: International Conference on bionics and prosthetics, biomechanics and mechanics, mechatronics and robotics. - Varna, 2004. - Vol.4. - p. 41 - 46.
3. Martinovs A. Gumijas reoloģiskā modeļa parametru noteikšana//RTU Zinātniskie raksti. 6.sērija. Mašīnzinātne un transports. Mehānika. 7.sējums. - Rīga: RTU izdevniecība, 2002. - 65. - 70.lpp.
4. Martinovs A. Fizikālo lielumu izvēle gumijas novecošanas procesu prognozēšanai// Rēzeknes Augstskolas raksti. 3.sējums. - Rēzekne: RA Izdevniecība, 2001. - 71. - 80.lpp.
5. Martinovs A. Par gumijas kalpošanas laika prognozēšanu// International conference: Traditions and innovations in sustainable development of society. - Rēzekne: RA Izdevniecība, 2002. - 67 - 74.lpp.
6. Martinovs A., Kangro I. Korelācijas pētījumi starp gumijas mehāniskiem un elektriskiem raksturlielumiem// Otrais pasaules latviešu zinātnieku kongress. - Rīga, 2001. - 555.lpp.

Publicēšanai RTU Zinātniskajos rakstos pieņemti šādi darbi:

7. Martinovs A., Gonca V. Autoriepu dielektrisko īpašību pētījumi novecošanas procesā. 2005.- 6 lpp.
8. Martinovs A., Timmerberg J., Gonca V. Sakarību starp gumijas mehāniskiem un elektriskiem parametriem pētījumi. 2005. - 8 lpp.

Konferenču saraksts, kurās ziņots par darba rezultātiem:

1. The 45th International Scientific Conference of Riga Technical University, 2004.
2. International Conference on bionics and prosthetics, biomechanics and mechanics, mechatronics and robotics.- Varna, 2004.
3. The 44th International Scientific Conference of Riga Technical University, 2003.
4. The 43rd International Scientific Conference of Riga Technical University, 2002.
5. International conference: Traditions and innovations in sustainable development of society.- Rēzeknes Augstskola, 2002.
6. Otrais Pasaules latviešu zinātnieku kongress.- Rīga, 2001.

Promocijas darba struktūra

Ievads

1. Literatūras apskats

- 1.1. Gumijas uzbūves un īpašību īss apskats
- 1.2. Gumijas izturēšanās aprakstošo modeļu īss apskats
- 1.3. Elastomēru raksturojošo fizikālo īpašību noteikšanas standartu un literatūras apskats
- 1.4. Esošo elastomēru mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodiku apskats
- 1.5. Secinājumi no literatūras apskata un zinātniskā darba uzdevumi

2. Teorētiskie pētījumi

- 2.1. Hipotēze par elektrisko un optisko lielumu izmantošanas iespējām elastomēru mehānisko īpašību noteikšanas un prognozēšanas metodikās
- 2.2. Gumijas sabrukšanas modelis vienvirziena stiepes deformācijā
- 2.3. Elastīgā potenciāla noteikšana vienvirziena stiepes deformācijā
- 2.4. Dielektriskās caurlaidības izmantošana gumijas sabrukšanas modelī
- 2.5. Gumijas aprēķinu modelis vienvirziena spiedes deformācijā
- 2.6. Gumijas aprēķinu modelis divvirziena stiepes deformācijā
- 2.7. Gumijas aprēķinu modelis no iekšpusē ar spiedienu slogotai cilindriskai caurulei
- 2.8. Gumijas aprēķinu modelis divvirziena spiedes deformācijā
- 2.9. Gumijas aprēķinu modelis bīdes deformācijā
- 2.10. Gumijas aprēķinu modelis vērpes deformācijā
- 2.11. Gumijas aprēķinu modelis dinamiskā stiepes spiedes deformācijā
- 2.12. Secinājumi no teorētiskajiem pētījumiem

3. Eksperimentālie pētījumi

- 3.1. Elastomēru mākslīgās novecošanas veikšanas metodika
- 3.2. Stiepes pārbaužu veikšanas metodika

- 3.3. Šļūdes pārbaužu veikšanas metodika
- 3.4. Cietības pārbaužu veikšanas metodika
- 3.5. Gumijas elektrisko mērījumu veikšanas metodika
- 3.6. Infrasarkanā staru optiskās caurlaidības mērījumu veikšanas metodika gumijai
- 3.7. Eksperimentos izmantoto gumiju veidi
- 3.8. Mērījuma kļūdu novērtēšana un eksperimentālo datu aproksimācija
- 3.9. Gumijas cietības izmaiņu novecošanas procesā pētījumi
- 3.10. Gumijas maksimālās deformācijas stiepē izmaiņu novecošanas procesā pētījumi
- 3.11. Gumijas izturības robežas stiepē izmaiņu novecošanas procesā pētījumi
- 3.12. Gumijas elastības īpašību maiņas novecošanas procesā pētījumi
- 3.13. Šļūdes pārbaužu rezultāti un to analīze
- 3.14. Gumijas elektrisko īpašību maiņas novecošanas procesā pētījumi
- 3.15. Gumijas infrasarkanā staru caurlaidības maiņas novecošanas procesā pētījumi
- 3.16. Sakarību starp gumiju raksturojošiem mehāniskiem, elektriskiem un optiskiem raksturlielumiem pētījumi
- 3.17. Secinājumi no eksperimentālajiem pētījumiem
4. Gumijas mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodika un tās eksperimentāla pārbaude vienvirziena stiepes deformācijā
 - 4.1. Prognozēšanai nepieciešamo sākotnējo datu iegūšana
 - 4.2. Strukturēšanās enerģijas, destrukturēšanās enerģijas, atomu režģa konstantes un strukturēšanās konstantes noteikšana
 - 4.3. Kalpošanas laika un maksimālās deformācijas šļūdē konstanta stiepes spēka iedarbībā prognozēšana
 - 4.4. Skaitliski un eksperimentāli iegūto rezultātu salīdzinājums un analīze

Secinājumi

Pielikumi

- 1.pielikums. Elastomēriem raksturīgo fizikālo īpašību noteikšanas un prognozēšanas standarti
- 2.pielikums. Gumijas cietības izmaiņas novecošanas procesā
- 3.pielikums. Gumijas maksimālās deformācijas stiepē izmaiņas novecošanas procesā
- 4.pielikums. Gumijas izturības robežas stiepē izmaiņas novecošanas procesā
- 5.pielikums. Gumijas elastības īpašību maiņa novecošanas procesā
- 6.pielikums. Gumijas elektrisko īpašību maiņa novecošanas procesā
- 7.pielikums. Gumijas infrasarkanā staru caurlaidības maiņa novecošanas procesā
- 8.pielikums. Sakarības starp gumiju raksturojošiem mehāniskiem, elektriskiem un optiskiem raksturlielumiem
- 9.pielikums. Parametru Q_d , Q_s , x un a aprēķinu programma
- 10.pielikums. Programma ilgizturības un maksimālās deformācijas šļūdē prognozēšanai

11.pielikums. Prognozējamais un eksperimentāli iegūtais gumijas kalpošanas laiks un maksimālā deformācija šļūdē konstanta stiepes spēka iedarbībā pie dažādām sākotnējo datu vērtībām

Literatūra

Promocijas darba apjoms: ievads - 2 lpp.; 1.nodaļa - 20 lpp.; 2.nodaļa - 46 lpp.; 3.nodaļa - 57 lpp.; 4.nodaļa - 14 lpp.; secinājumi - 1 lpp.; 11 pielikumi - 66 lpp.; literatūras saraksts - 12 lpp.; kopā - 225 lpp.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Darbā tiek veikts gumijas uzbūves, īpašību un modeļu apskats, tiek realizēta elastomērus raksturojošo fizikālo īpašību noteikšanas standartu un literatūras, elastomēru mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodiku izpēte.

Veicot literatūras apskatu, tiek izdarīti šādi secinājumi:

- 1) esošās elastomēru fizikālo īpašību un gumijas izstrādājumu kalpošanas laika prognozēšanas metodikas balstās tikai uz mehānisko parametru mērīšanu;
- 2) uz dielektriskās caurlaidības mērīšanu balstīts matemātisks modelis, kurš apraksta gumijas sabrukšanas procesus, neeksistē;
- 3) eksistējošos modeļos tiešā veidā nav iekļauta apkārtējās vides kaitīgo faktoru (radiācija, ultravioletais starojums, ozons u.c.) ietekme uz gumiju;
- 4) veidojot gumiju aprakstošos modeļus, lietderīgi ievērot hierarhiski adaptīvās modelēšanas principu;
- 5) literatūrā netika atrasta gumijas dielektriskās caurlaidības noteikšanas metodika;
- 6) nav pētītas gumijas dielektriskās caurlaidības izmaiņas novecošanas procesā un tās sakarība ar gumiju raksturojošiem mehāniskiem parametriem;
- 7) nav pētītas elastomēru infrasarkano (IS) staru optiskās caurlaidības izmaiņas novecošanas procesā un tās sakarība ar elastomēru raksturojošiem mehāniskiem parametriem.

Balstoties uz literatūras apskatu un no tā iegūtajiem secinājumiem, dotajā darbā tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- 1) pārbaudīt hipotēzi par elektrisko un optisko lielumu izmantošanas iespējām elastomēru mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanas metodikās;
- 2) izstrādāt attiecīgu tehnisko nodrošinājumu un metodiku dielektrisko mērījumu veikšanai elastomēru materiāliem;
- 3) izpētīt gumijas dielektriskās caurlaidības, īpatnējās pretestības un IS staru optiskās caurlaidības izmaiņas novecošanas procesā;
- 4) noskaidrot iespējamo sakarību novecošanas procesā starp elektriskiem, optiskiem un mehāniskiem parametriem, kā arī novērtēt šīs sakarības ticamību;
- 5) izstrādāt matemātisku modeli dažādiem slogojuma veidiem, kurš ļauj iegūt empīrisku sakarību starp gumijas mehāniskiem parametriem un dielektrisko caurlaidību;

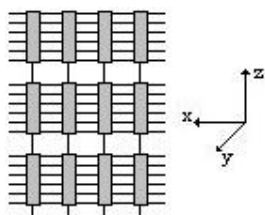
- 6) izstrādāt, balstoties uz doto modeli, elastomēru mehānisko parametru un kalpošanas laika prognozēšanas metodiku;
- 7) pārbaudīt elastomēru mehānisko parametru un kalpošanas laika prognozēšanas metodiku praksē.

2. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

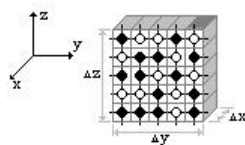
Ir izstrādāts matemātisks modelis gumijas vienvirziena un divvirziena stiepes, vienvirziena un divvirziena spiedes, bīdes, vērpes, dinamiskas stiepes - spiedes deformācijas gadījumiem. Modelis ļauj aprēķināt gumijas izstrādājuma kalpošanas laiku pie dotās slodzes. Tas saista gumiju raksturojošos mehāniskos, siltuma un elektriskos parametrus, laiku un faktoros, kas ietekmē gumijas novecošanu - temperatūru un pievadīto enerģiju. Modelis nedod iespēju veikt risināšanu analītiski, taču to var izmantot skaitliskos aprēķinos. Modelis ļauj samazināt mehānisko pārbaužu skaitu, aizstājot tās ar viegli automatizējamiem dielektriskās caurlaidības mērījumiem.

Ir izstrādāta metodika elastīgā potenciāla noteikšanai stiepes ar konstantu ātrumu un šļūdes konstanta stiepes spēka iedarbībā gadījumiem.

Īsumā raksturosim matemātisko modeli, kurš apraksta gumijas sabrukšanas procesus vienvirziena stiepes deformācijā. Modelī gumijas komplicētā struktūra tiek aizstāta ar plātņveida struktūru (2.1.attēls). Plātņveida elementa izmēri (skatīt 2.2.attēlu) Δy un Δz ir mazi salīdzinājumā ar gumijas parauga, bet lieli - salīdzinājumā ar kaučuka molekulas izmēriem; izmērs $\Delta x = x$ tiek saukts par atomu režģa konstanti, tas vienāds ar attālumu starp blakusesošo atomu centriem nedeformētā stāvoklī. Plātņveida elementi tiek saistīti savā starpā ar saitēm, kuru skaits ir maksimāls jaunai gumijai, bet novecošanas vai deformācijas procesā samazinās (skatīt 2.1. un 2.3.attēlu). Parauga deformācijas procesā visu mehānisko slodzi uzņem tikai tās saites, kuras paralēlas stiepes virzienam (dotajā gadījumā šīs saites paralēlas x asij). Par sagraušanas momentu tiek uzskatīts brīdis, kad visas saites, kuras savieno divus plātņveida elementus ir pārrautas (skatīt 2.4.attēlu).

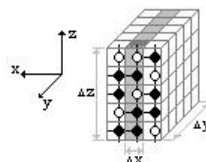


2.1.att. Plātņveida struktūra jaunai gumijai

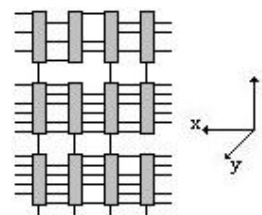


a)

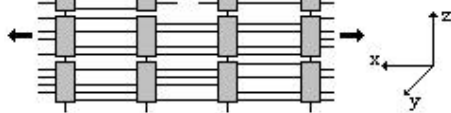
2.2.att. Plātņveida tilpuma elements



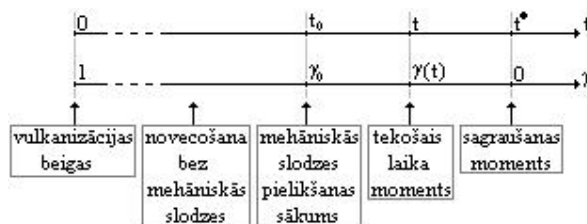
b)



2.3.att. Saišu saraušana novecošanas procesā



2.4.att. Parauga sagraušana stiepes deformācijā



2.5.att. Saūšanas pakāpe dažādos laika momentos

Gumijas novecojuma kvantitatīvai raksturošanai konkrētam plātņveida elementam tiek izmantots lielums γ , ko sauc par saūšanas pakāpi:

$$g(t) = \frac{N_1(t)}{N}, \quad (2.1)$$

kur N_1 - stiepes slodzi nesošo saišu skaits laika momentā t ; N - maksimālais stiepes slodzi nesošo saišu skaits plātņveida elementā (atbilst laika momentam $t=0$). Saūšanas pakāpe raksturo, kāda daļa no maksimālā stiepes slodzi nesošā saišu skaita dotajā laika momentā t ir saglabājusies. Tās skaitliskās vērtības dažādiem laika momentiem ir dotas 2.5.attēlā.

Saite tiek sarauta, ja tā saņem enerģētisku fluktuāciju, kas lielāka par saites saraušanai nepieciešamo enerģiju Q_d , ko nosauksim par destrukurēšanās enerģiju. Enerģiju saitei var pievadīt siltumkustības ceļā no blakusesošiem atomiem, to var pienest apkārtējā agresīvā vide ķīmiski aktīvu vielu vai starojumu veidā, kā arī - mehāniski deformējot paraugu. Vienlaicīgi ar destrukurēšanās jeb saišu saraušanas procesu, kura rezultātā saūšanās pakāpe samazinās, notiek arī strukturēšanās- jaunu saišu veidošanās procesi, kas palielina saūšanās pakāpi. Jaunas saites izveidošanai atomam ar nesapārotu elektronu jāsaņem enerģija Q_s , ko sauksim par strukturēšanās enerģiju. Modelī tiek pieņemts, ka saišu strukturēšanās un destrukurēšanās procesi pakļaujas Bolcmaņa sadalījumam. Saūšanās pakāpes izmaiņu $d\gamma$ laikā dt nosaka diferenciālvienādojums:

$$dg(t) = \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d(t)}{x^3 \cdot W(t) + k \cdot T(t) + W_{star}(t) + W_{ķīm}(t)}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s(t)}{k \cdot T(t) + W_{sar}(t)}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (2.2)$$

kur W - elastīgais potenciāls (tilpuma vienībai pievadītā deformācijas potenciālā enerģija) dotajā plātņveida elementā, J/m^3 ; $k=1,23 \cdot 10^{-23} J/K$ - Bolcmaņa konstante; T - absolūtā temperatūra, K ; a - strukturēšanās konstante; $Z=6$ - atomam tuvāko kaimiņu atomu skaits kubiskā režģī; $\nu=1 \cdot 10^{13} Hz$ - atomu siltuma svārstību frekvence; t - laiks, s ; W_{star} - starojuma ceļā laika momentā t vidējā vienai saitei pievadītā enerģija, J ; $W_{ķīm}$ - ķīmisku reakciju ceļā vidējā vienai saitei pievadītā enerģija, J ; $x^3 \cdot W/\gamma$ - mehāniskā ceļā vienai saitei pievadītā

enerģija, J ; $k \cdot T$ - vienai saitei atbilstošā siltumkustības enerģija, J . Eksponeņa pie pirmā saskaitāmā raksturo varbūtību parādīties enerģētiskai fluktuācijai, kura izsauc saites saraušanu; eksponēta pie otrā saskaitāmā raksturo varbūtību parādīties enerģētiskai fluktuācijai, kura izsauc jaunas saites izveidošanos. Doto diferenciālvienādojumu raksturo sākuma, mehāniskās slodzes pielikšanas brīža un beigu nosacījumi (skatīt 2.5.attēlu):

$$\begin{aligned} \text{ja } t=0, \text{ tad } \gamma &= 1; \\ \text{ja } t=t_0, \text{ tad } \gamma &= \gamma_0; \\ \text{ja } t=t^*, \text{ tad } \gamma &= 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Augstāk dotais diferenciālvienādojums attiecas uz vienu atsevišķu plātņveida elementu. Tā kā gumijas izstrādājums sastāv no liela skaita šādu plātņveida elementu, tad ar šo modeli var aprakstīt novecošanas procesus arī gumijas detaļai kopumā. Dotais modelis paver iespēju gumijā aprakstīt anizotropisku stāvokli, kurš rodas novecošanu izsaucošo faktoru neviendabīgās iedarbības rezultātā. Novecojuma raksturošanai var izmantot sašūšanās pakāpes γ lauku, kurš (tāpat kā mehānisko spriegumu un temperatūras lauki) dažādās gumijas izstrādājuma vietās var būt dažāds. Kur spēcīgāka būs novecošanu veicinošo faktoru (mehānisko spriegumu, temperatūras, starojumu, ķīmisko) iedarbība, tur sašūšanās pakāpes lauks būs vājāks. Ja γ vērtība kādā gumijas izstrādājuma punktā (plātņveida elementā) kļūst vienāda ar nulli, tad šo laika momentu var uzskatīt par parauga sagraušanas brīdi.

Darbā tiek piedāvāts stiepes ar konstantu ātrumu w raksturlīknes aproksimācijai izmantot funkciju

$$s_0 = q \cdot e^d, \quad (2.4)$$

kur σ_0 - mehāniskais spriegums attiecībā pret šķērsriezuma laukumu nedeformētā stāvoklī; ϵ - deformācija; q, d - materiāla konstantes. Elastīgo potenciālu nesaspiežamam materiālam (piemēram, gumijai) vispārīgā gadījumā aprēķina šādi:

$$W = \int_0^e s_0 \cdot de. \quad (2.5)$$

Deformācija vienmērīgas stiepes gadījumā:

$$e = \frac{w \cdot t}{l_0}, \quad (2.6)$$

kur l_0 - stiepes pārbaudei pakļautā parauga darba zonas garums nedeformētā stāvoklī. No vienādojumiem (2.4) - (2.6) iegūst šādu elastīgā potenciāla aprēķināšanas izteiksmi stiepes ar vienmērīgu ātrumu gadījumam:

$$W = \frac{q}{d+1} \cdot \left(\frac{w \cdot t}{l_0} \right)^{d+1}. \quad (2.7)$$

Darbā tiek apskatīts arī gadījums, kad gumijas paraugs pakļauts šļūdei konstanta stiepes spēka P_0 iedarbībā. Šļūdes process tiek sadalīts divās daļās: 1) parauga noslogošana līdz uzdotajai spēka P_0 vērtībai ar konstantu stiepes ātrumu w , 2) šļūde konstanta stiepes spēka P_0 darbības rezultātā. Deformācijas ϵ aproksimācijai, sākot no laika momenta t_0 , kurā paraugs pilnībā uzņem slodzi P_0 , tiek rekomendēts lietot funkciju

$$e = e_0 \cdot \left[1 + b \cdot \langle t - t_0 \rangle^c \right], \quad (2.8)$$

kur ϵ_0 - laika momentam t_0 atbilstoša deformācija; c , d - šļūdes pārbaudei pakļauto paraugu raksturojošas konstantes. Elastīgā potenciāla patvaļīgā laika momentā t aprēķināšanas izteiksme dotajā gadījumā:

$$W = \frac{q}{d+1} \cdot \left(\frac{\sigma_0}{q} \right)^{\frac{d+1}{d}} + \sigma_0 \cdot \left(\frac{\sigma_0}{q} \right)^{\frac{1}{d}} \cdot b \cdot \left\langle t - \left(\frac{\sigma_0}{q} \right)^{\frac{1}{d}} \cdot \frac{l_0}{w} \right\rangle^c, \quad (2.9)$$

kur $\sigma_0 = P_0/F_0$ - mehāniskais spriegums; F_0 - parauga darba zonas šķērsriezuma laukums nedeformētā stāvoklī (perpendikulārs stiepes virzienam).

Gadījumā, ja novecošanas procesā gumijā neveidojas anizotropisks stāvoklis, piemēram, novecošana notiek nenoslogotā stāvoklī, modelī var iekļaut relatīvo dielektrisko caurlaidību χ , sašūšanās pakāpi γ un laiku t saistošu diferenciālvienādojumu

$$\frac{dc}{c^2} = x \cdot g(t) \cdot dt. \quad (2.10)$$

Koeficients ξ ir materiāla konstante, kura raksturo gumijas elektriskās īpašības, ir atkarīga no dielektriskās caurlaidības mērījumos izmantotā elektriskā lauka maiņas frekvences. Ja novecošanas procesā gumijas relatīvā dielektriskā caurlaidība χ palielinās, tad $\xi > 0$, ja χ samazinās, tad $\xi < 0$. Diemžēl vienādojuma (2.10) praktiska izmantošana ir apgrūtināta komplicētās funkcijas $\gamma = \gamma(t)$ dēļ (skatīt vienādojumu (2.2)). Tāpēc ir lietderīgāk uzreiz meklēt empīriskas sakarības starp modelī ietilpstošajām, elastīgo potenciālu nosakošām konstantēm un relatīvo dielektrisko caurlaidību. Piemēram,

$$q = q(c), \quad (2.11)$$

$$d = d(c), \quad (2.12)$$

$$b = b(c), \quad (2.13)$$

$$c = c(c), \quad (2.14)$$

$$c_i = c_i(c), \quad (2.15)$$

kur $i=1, 2, 3, 4$ atbilstošie indeksi materiāla konstantēm, kuras ieiet Bidermana elastīgā potenciāla izteiksmē [53]. Funkcijas (2.11) - (2.15) ļauj mehāniskos mērījumus aizstāt ar paraugu nesagraujošiem, viegli automatizējiem dielektriskās caurlaidības mērījumiem. Argumenta χ vietā šajās funkcijās var lietot arī īpatnējo pretestību ρ un IS staru optisko caurlaidību T .

Citiem deformāciju veidiem matemātiskie modeļi ir līdzīgi, atšķirība ir tikai elastīgā potenciāla aprēķināšanas izteiksmē, kā arī pieņēmumā, ka sašūšanās pakāpe dažādos deformācijas virzienos ir atšķirīga.

3. EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

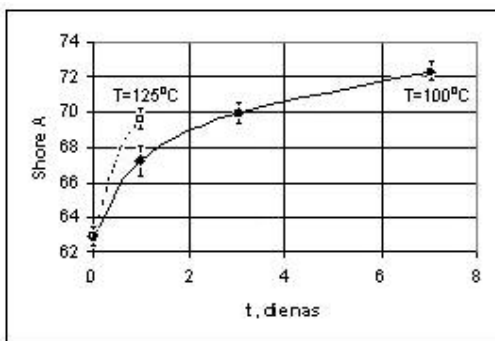
Eksperimentālajos pētījumos tiek izmantoti 20 dažādu gumiju veidi. Paraugi tiek pakļauti mākslīgajai novecošanai (standarts DIN 53508); tiem tiek veiktas stiepes pārbaudes (standarts DIN 53504); tiek realizētas šļūdes pārbaudes līdz sagraušanai konstanta stiepes spēka iedarbībā; tiek veikti cietības mērījumi pēc Shora A vai Shora D (standarti DIN EN ISO 868, DIN 53505); balstoties uz standartu DIN ISO 2878, izstrādāta metodika un veikti dielektriskās caurlaidības un īpatnējās pretestības mērījumi; atsevišķi tiek izstrādāta viegli automatizējama metodika dielektrisko mērījumu veikšanai autoriepām; izpētīta dielektriskās caurlaidības maiņa novecošanas procesā dažiem autoriepu veidiem; tiek veikti IS staru optiskās caurlaidības mērījumi (ar Perkin Elmer FT-IR spektrometru Spectrum 1000); tiek konstatēta funkcionālu sakarību eksistence starp gumiju raksturojošiem mehāniskiem, elektriskiem un optiskiem parametriem.

Elektrodi (sudraba laka, elektrovadoši šķidrums, grafiņa smērviela), kuri tiek uzklāti uz pētāmā elastomēru materiāla virsmas, ir izmantojami dielektriskās caurlaidības vai īpatnējās elektriskās pretestības skaitlisko vērtību noteikšanai, taču automatizētam dielektriskās caurlaidības mērīšanas procesam ir grūti piemērojami. Darbā šai problēmai ir atrasts risinājums, izmantojot kapacitatīvos sensorus. Uz 3mm biezas organiskā stikla plāksnītes (riņķveida vai kvadrātveida) ar izmēriem 2...2,5cm tiek uzklāta planāru alumīnija elektrodu sistēma. To pārklāj ar aptuveni 0,2mm biezu dielektriķa kārtiņu. Šāds sensors tiek piespiests ar konstantu spēku pie pētāmā elastomēru materiāla virsmas, piemēram, automašīnas riepas sāna, un laika momentā $2\pm 1s$ pēc piespiešanas tiek izmērīta sensora kapacitāte. Dotajā gadījumā dielektriskās caurlaidības skaitliskā vērtība netiek noteikta, taču par tās izmaiņām materiālā var spriest pēc sensora kapacitātes lieluma. Sensora kapacitātes izmaiņa liecina par elastomēru materiāla dielektriskās caurlaidības atbilstošu palielināšanos vai samazināšanos. Kapacitātes mērījumi tiek veikti ar multimetru Fluke 189. Lai izslēgtu pievadvadu kapacitātes ietekmi uz mērījumu rezultātiem, sensora kapacitāte tiek mērīta 2 reizes. Vispirms izmēra sensora kapacitāti C , kad tas ir piespiests pie riepas virsmas. Pēc tam sensoru noņem no riepas un atkal nolasa tā kapacitāti C_0 . Aprēķina kapacitātes pieaugumu, ko rada gumija salīdzinājumā ar gaisu:

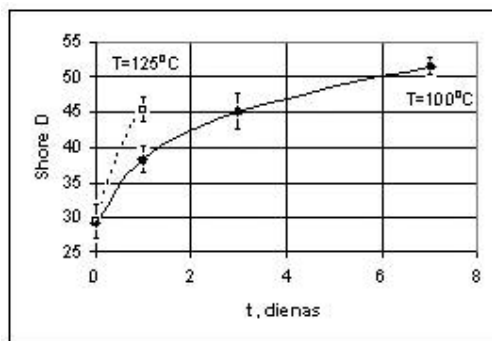
$$\Delta C = C - C_0. \quad (3.1)$$

Vienai un tai pašai riepai mērījumus atkārtoti veic 20 dažādās vietās pa perimetru, aprēķina ΔC vidējo.

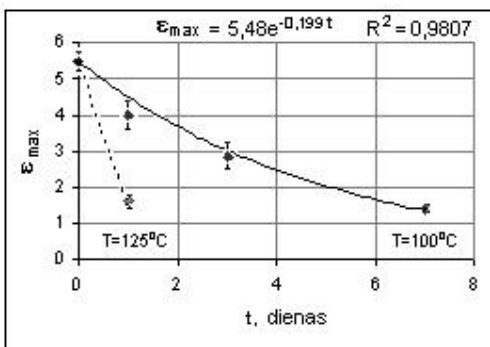
Turpinājumā tiek doti eksperimentālo pārbažu rezultātu piemēri. Grafikos tiek norādīti arī mērījumu kļūdu intervāli. Pilna informācija par eksperimentālajiem rezultātiem skatāma promocijas darbā un tā pielikumos.



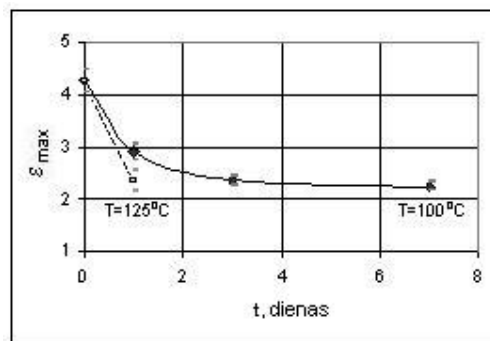
3.1.att. Cietības izmaiņa novecošanas laikā 100°C un 125°C temperatūrā gumijai Nr.2



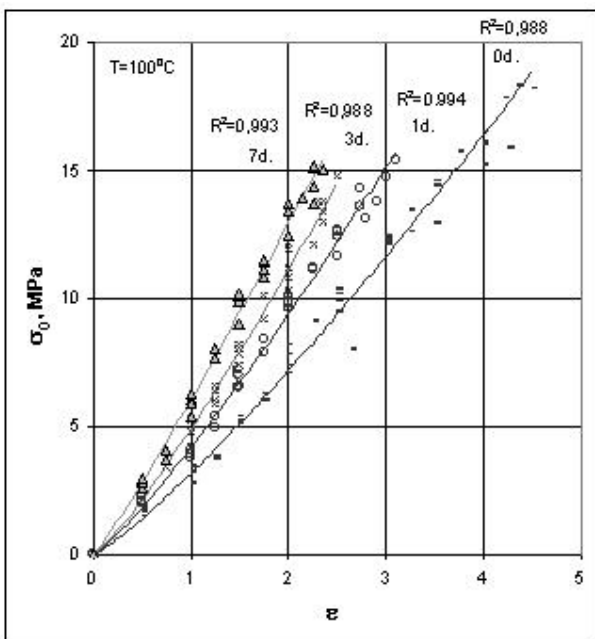
3.2.att. Cietības izmaiņa novecošanas laikā 100°C un 125°C temperatūrā gumijai Nr.9



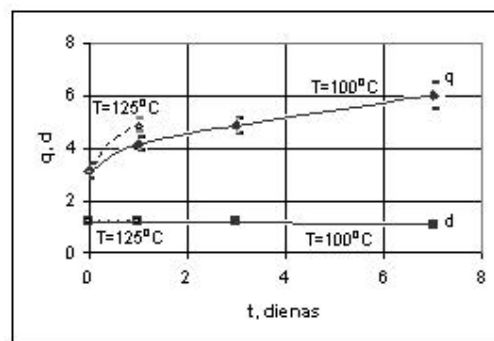
3.3.att. Maksimālās deformācijas izmaiņa gumijai Nr.1 novecošanas procesā. Novecošanas temperatūra - 100°C un 125°C, stiepes ātrums - 200mm/min



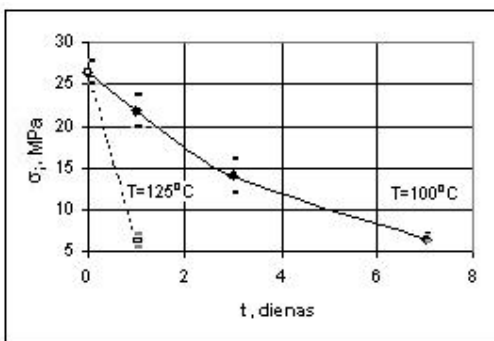
3.4.att. Maksimālās deformācijas izmaiņa gumijai Nr.2 novecošanas procesā. Novecošanas temperatūra - 100°C un 125°C, stiepes ātrums - 200mm/min



3.5.att. Stiepes raksturlīknes dažādu laiku 100°C temperatūrā novecojušai gumijai Nr.2. Stiepes ātrums - 200mm/min; 0d - jauna gumija; 1d, 3d, 7d - 1, 3 un 7 dienas 100°C temperatūrā novecojusi gumija; aproksimācijai izmantota funkcija (2.4); R^2 - determinācijas koeficients

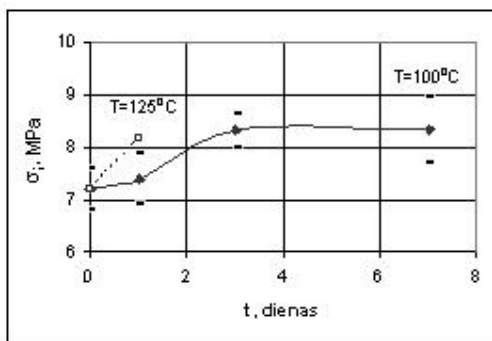


3.6.att. Elastīgās īpašības raksturojošo parametru q un d izmaiņa novecošanas laikā 100°C un 125°C temperatūrā gumijai Nr.2



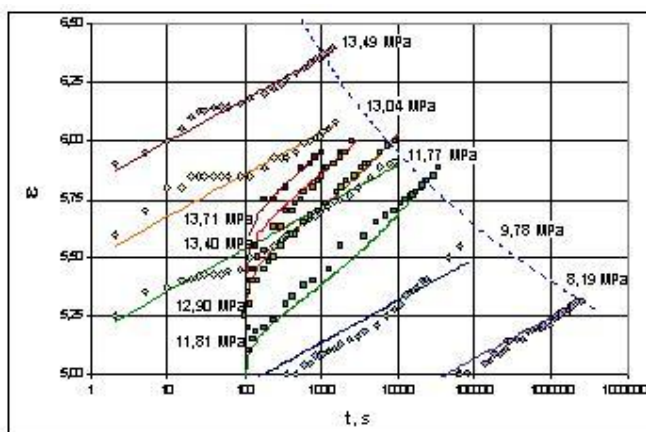
3.7.att. Izturības robežas izmaiņa gumijai Nr.1 novecošanas procesā.

Novecošanas temperatūra - 100°C un 125°C,
stiepes ātrums - 200mm/min



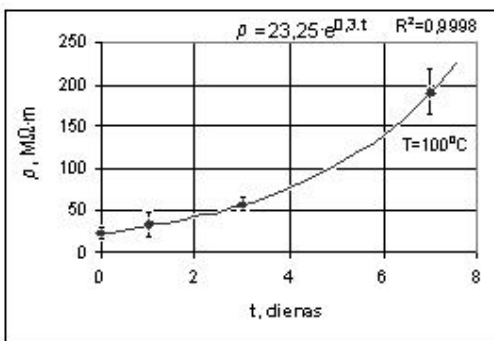
3.8.att. Izturības robežas izmaiņa gumijai Nr.4 novecošanas procesā.

Novecošanas temperatūra - 100°C un 125°C,
stiepes ātrums - 200mm/min



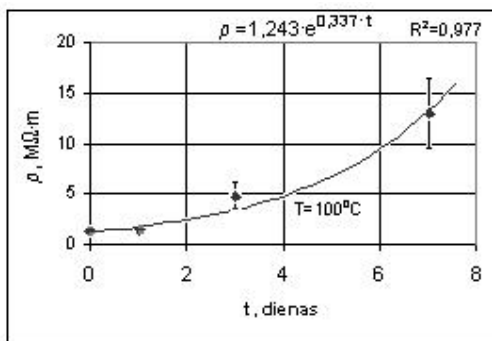
3.9.att. Deformācijas atkarība no laika gumijai Nr.14 šļūdē pie dažādām stiepes slodzēm un diviem dažādiem noslogošanas ar ātrumiem.

Noslogošanas ātrumi: $w=0,10\text{m/s}$ (rombi, taisnās paralēlās līnijas) un $w=0,96\text{mm/s}$ (kvadrāti, līknes diagrammas vidusdaļā); ar punktiem attēloti eksperimentālie dati, ar līnijām - aproksimējošo funkciju grafiki; mērījumu relatīvā kļūda: deformācijai - 1,2%; spriegumam - 6,8%; ar raustīto līniju eksperimentālo līkņu labajā malā parādīts kalpošanas laiks t^* pie dotās stiepes slodzes un noslogošanas ātruma $w=0,10\text{m/s}$; spriegums uzdots attiecībā pret laukumu nedeformētā stāvoklī; šļūdes pārbaužu temperatūra 15°C



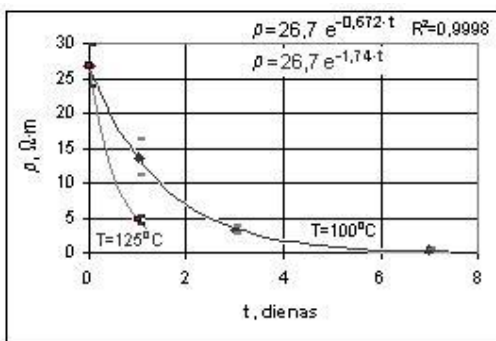
3.10.att. Īpatnējās pretestības izmaiņa gumijai Nr.1 novecošanas laikā 100°C temperatūrā.

Mērījumi veikti ar multimetru Fluke 189,
Spriegums - 6V

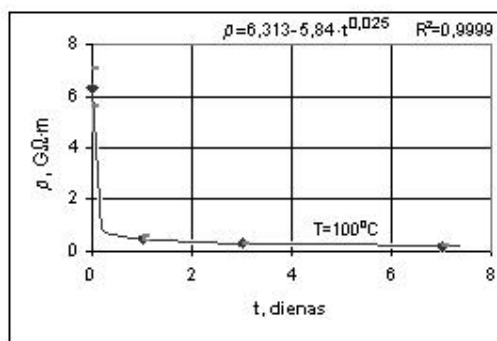


3.11.att. Īpatnējās pretestības izmaiņa gumijai Nr.1 novecošanas laikā 100°C temperatūrā.

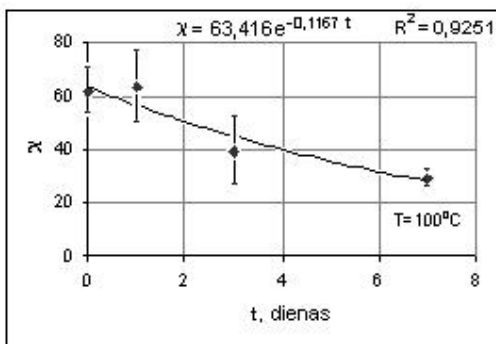
Mērījumi veikti ar Sefelec megaommetru Megohmmetre M1500P, spriegums - 1000V



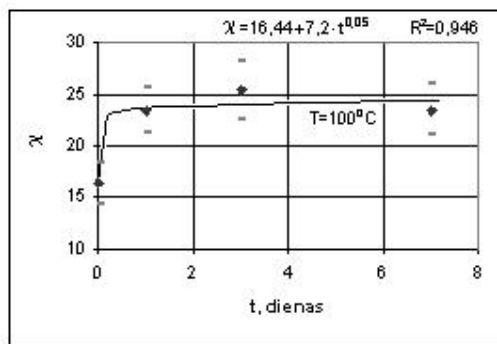
3.12.att. Īpatnējās pretestības izmaiņa gumijai Nr.9 novecošanas laikā 100⁰C un 125⁰C temperatūrā.
Mērījumi veikti ar multimetru Fluke 189



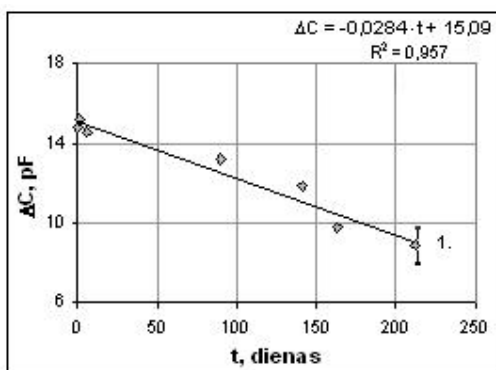
3.13.att. Īpatnējās pretestības izmaiņa gumijai Nr.14 novecošanas laikā 100⁰C temperatūrā.
Mērījumi veikti ar Sefelec megaommetru Megohmmetre M1500P



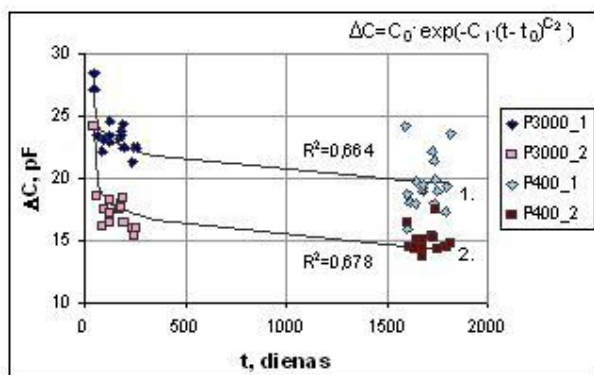
3.14.att. Relatīvās dielektriskās caurlaidības izmaiņa gumijai Nr.1 novecošanas laikā 100⁰C temperatūrā



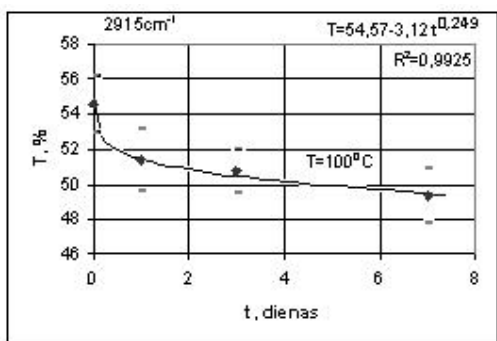
3.15.att. Relatīvās dielektriskās caurlaidības izmaiņa gumijai Nr.14 novecošanas laikā 100⁰C temperatūrā



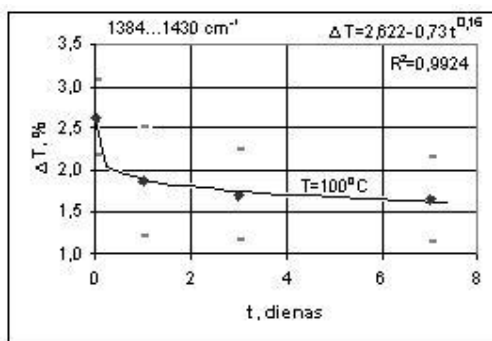
3.16.att. Sensora kapacitātes pieauguma ΔC izmaiņa ziemas riepām Marshal, atrodoties noliktavas apstākļos



3.17.att. Sensora kapacitātes pieauguma ΔC izmaiņa Pirelli riepām ilgstošā novecošanas procesā normālos ekspluatācijas apstākļos; tiek izmantoti divi dažādi sensori; 1.sensoram: $C_0=28,4\text{pF}$, $C_1=0,089$, $C_2=0,19$, $t_0=47$ dienas; 2.sensoram: $C_0=21,4\text{pF}$, $C_1=0,126$, $C_2=0,19$, $t_0=48$ dienas

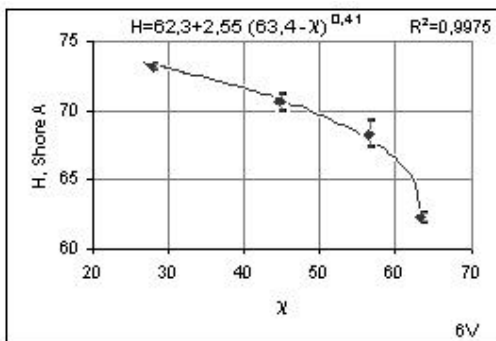


3.18.att. IS staru caurlaidības pie 2915cm^{-1} izmaiņa novecošanas laikā 100°C temperatūrā gumijai Nr.1

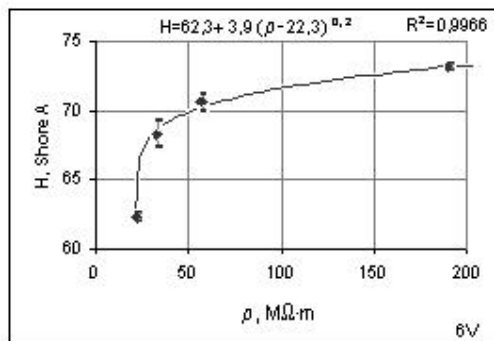


3.19.att. IS staru caurlaidību starpības pie 1384cm^{-1} un 1430cm^{-1} izmaiņa novecošanas laikā 100°C temperatūrā gumijai Nr.1

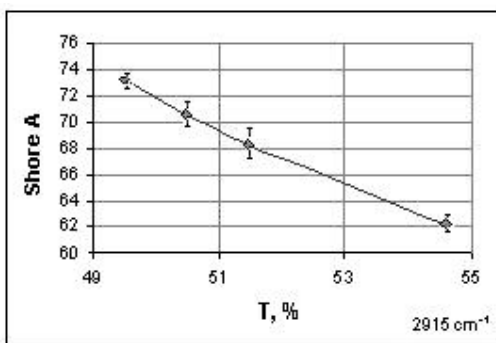
Sakarības starp cietību un elektriskiem, optiskiem lielumiem gumijai Nr.1 dotas 3.20. - 3.23.attēlos.



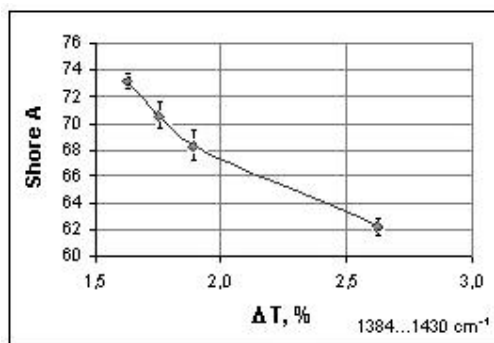
3.20.att. Sakarība starp cietību un relatīvo dielektrisko caurlaidību gumijai Nr.1



3.21.att. Sakarība starp cietību un īpatnējo pretestību gumijai Nr.1

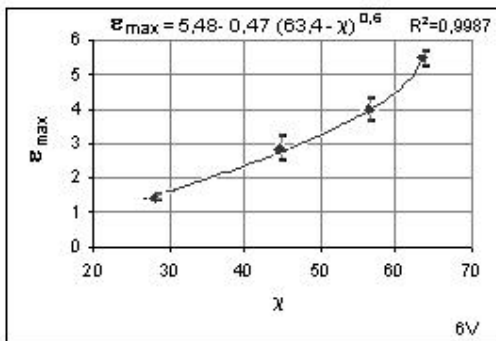


3.22.att. Sakarība starp cietību un IS staru optisko caurlaidību pie 2915cm^{-1} gumijai Nr.1

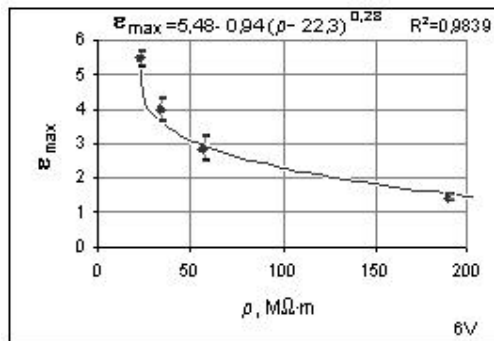


3.23.att. Sakarība starp cietību un IS staru optiskās caurlaidības starpību pie $1384\text{...}1430\text{cm}^{-1}$ gumijai Nr.1

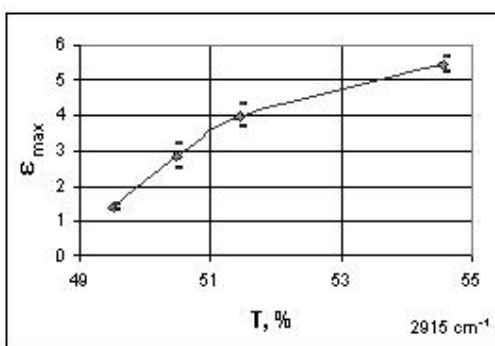
Sakarības starp maksimālo deformāciju un elektriskiem, optiskiem lielumiem gumijai Nr.1 dotas 3.24. - 3.27.attēlos.



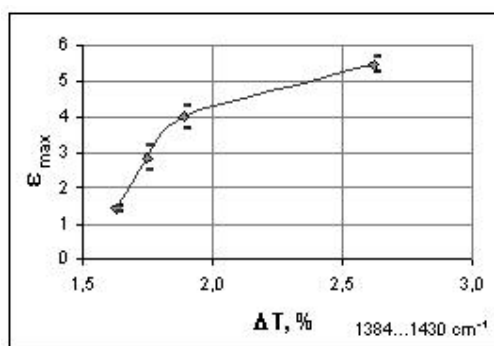
3.24.att. Sakarība starp maksimālo deformāciju un relatīvo dielektrisko caurlaidību gumijai Nr.1



3.25.att. Sakarība starp maksimālo deformāciju un īpatnējo pretestību gumijai Nr.1

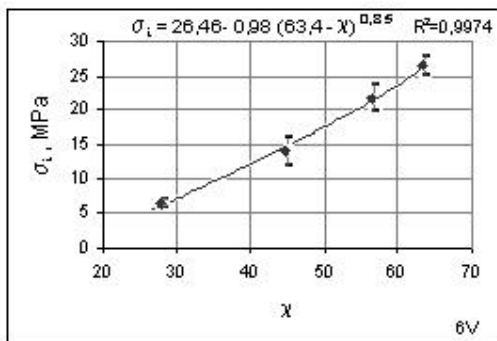


3.26.att. Sakarība starp maksimālo deformāciju un IS staru optisko caurlaidību pie 2915cm⁻¹ gumijai Nr.1

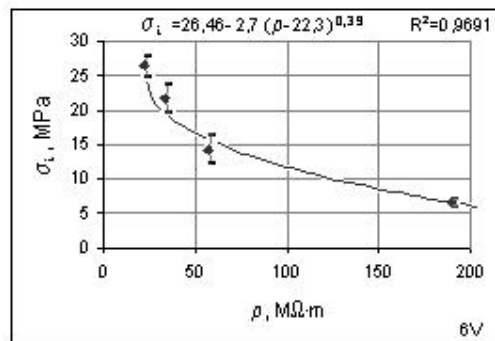


3.27.att. Sakarība starp maksimālo deformāciju un IS staru optiskās caurlaidības starpību pie 1384...1430cm⁻¹ gumijai Nr.1

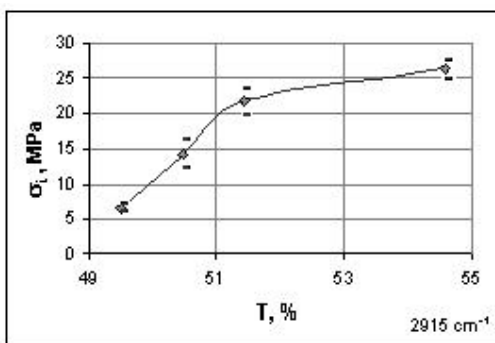
Sakarības starp izturības robežu un elektriskiem, optiskiem lielumiem gumijai Nr.1. dotas 3.28.- 3.31.attēlos.



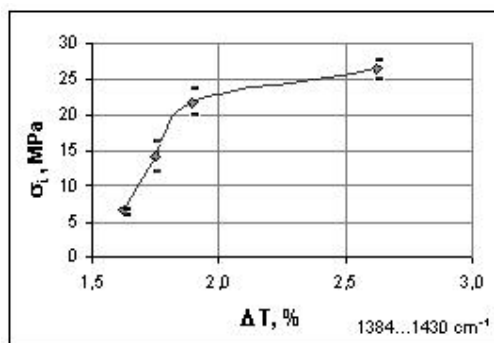
3.28.att. Sakarība starp izturības robežu un relatīvo dielektrisko caurlaidību gumijai Nr.1



3.29.att. Sakarība starp izturības robežu un īpatnējo pretestību gumijai Nr.1

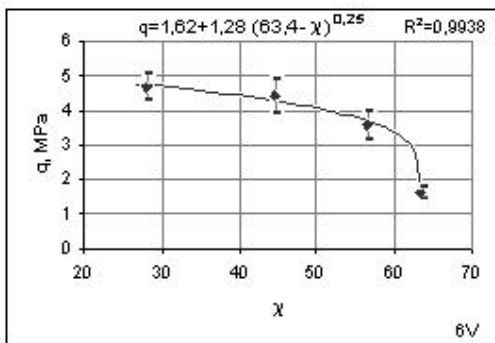


3.30.att. Sakarība starp izturības robežu un IS staru optisko caurlaidību pie 2915cm⁻¹ gumijai Nr.1

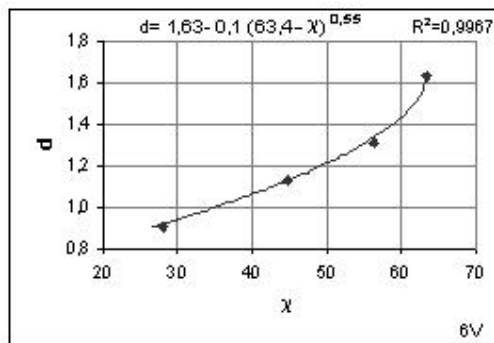


3.31.att. Sakarība starp izturības robežu un IS staru optiskās caurlaidības starpību pie 1384...1430cm⁻¹ gumijai Nr.1

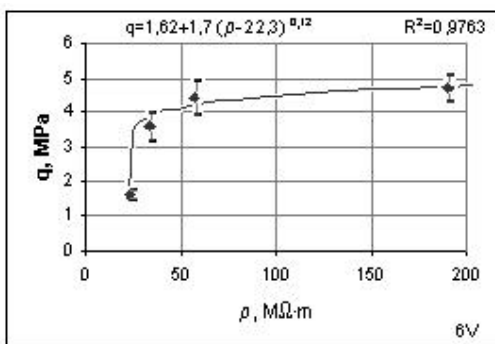
Sakarības starp elastīgās īpašības raksturojošiem parametriem q , d un elektriskiem, optiskiem lielumiem gumijai Nr.1 dotas 3.32. - 3.39.attēlos.



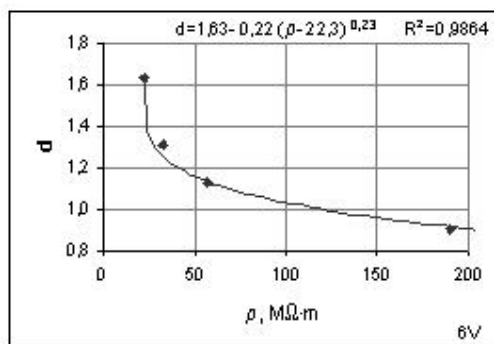
3.32.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru q un dielektrisko caurlaidību gumijai Nr.1



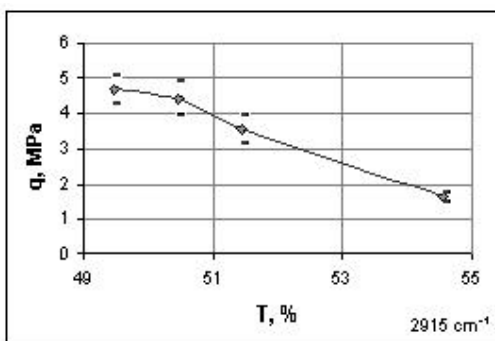
3.33.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru d un dielektrisko caurlaidību gumijai Nr.1



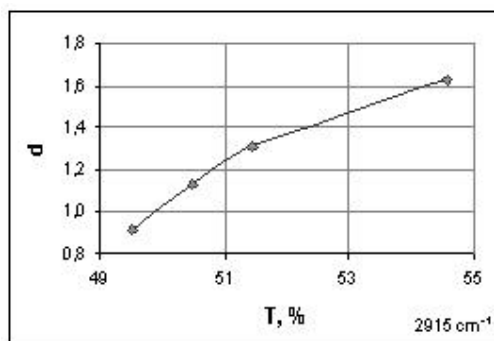
3.34.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru q un īpatnējo pretestību gumijai Nr.1



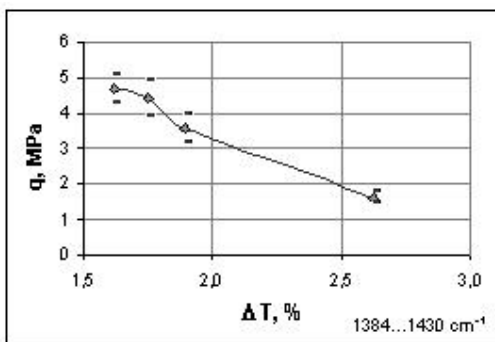
3.35.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru d un īpatnējo pretestību gumijai Nr.1



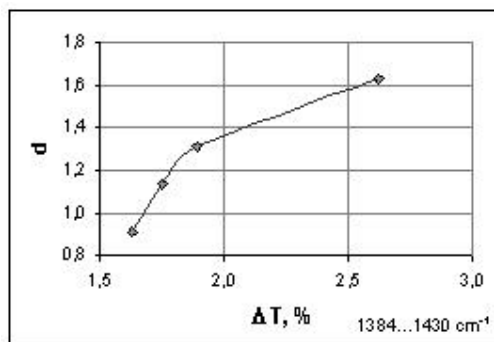
3.36.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru q un IS staru optisko caurlaidību pie 2915cm^{-1} gumijai Nr.1



3.37.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru d un IS staru optisko caurlaidību pie 2915cm^{-1} gumijai Nr.1

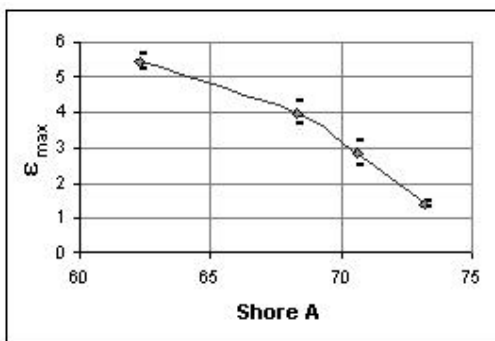


3.38.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru q un IS staru optiskās caurlaidības starpību pie $1384\text{...}1430\text{cm}^{-1}$ gumijai Nr.1

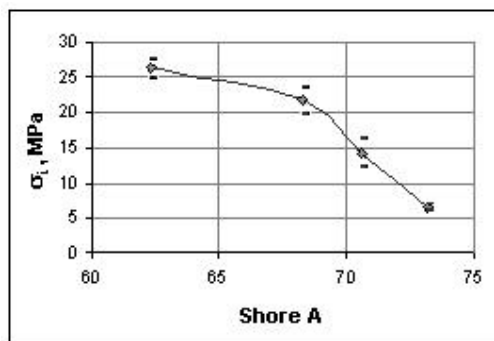


3.39.att. Sakarība starp elastīgās īpašības raksturojošo parametru d un IS staru optiskās caurlaidības starpību pie $1384\text{...}1430\text{cm}^{-1}$ gumijai Nr.1

Sakarības starp maksimālo deformāciju, izturības robežu un cietību gumijai Nr.1 dotas 3.40., 3.41.attēlos.



3.40.att. Sakarība starp maksimālo deformāciju un cietību gumijai Nr.1



3.41.att. Sakarība starp izturības robežu un cietību gumijai Nr.1

Balstoties uz eksperimentālajiem pētījumiem, tiek izdarīti šādi zemāk dotie secinājumi.

Gumijas novecošanas procesā mainās mehāniskās (cietība, izturības robeža, maksimālā deformācija, stingums), elektriskās (dielektriskā caurlaidība, īpatnējā pretestība) un optiskās (IS staru caurlaidība, IS staru caurlaidības starpība) īpašības. Pastāv stohastiskas sakarības starp mehāniskiem un elektriskiem vai mehāniskiem un optiskiem parametriem. Tas dod iespēju mehānisko pārbaūžu vietā izmantot elektriskos vai optiskos mērījumus.

Stiepes raksturlīkņu aproksimāciju tiek rekomendēts veikt ar izteiksmi (2.4); deformācijas aproksimācijai šļūdē konstanta stiepes spēka gadījumā apmierinošus rezultātus dod izteiksme (2.8).

Šļūdes diagrammas (3.9.attēls) pie konstantas stiepes slodzes un uzdota noslogošanas ātruma var izmantot, lai prognozētu deformāciju interesējošā laika momentā, maksimālo deformāciju un parauga kalpošanas laiku.

Izstrādāts tehniskais nodrošinājums un metodika dielektrisko mērījumu veikšanai elastomēru materiāliem. Dielektriskie mērījumi jāveic standartizētā laika intervālā pēc sprieguma pievienošanas elektrodiem, jo mērāmā kapacitātes vērtība laika gaitā gandrīz neierobežoti palielinās. Jāizmanto standartizētas sprieguma vērtības (skatīt 3.10. un 3.11.attēlu). Dielektrisko mērījumu veikšanai optimālas ir zemās (<100Hz) elektriskā lauka frekvences. Gumijām ar lielu elektrisko pretestību ($G\Omega\cdot m$, $M\Omega\cdot m$) ir jāizmanto dielektriskās caurlaidības mērījumi, gumijām ar mazu elektrisko pretestību ($\Omega\cdot m$) jāveic elektriskās pretestības mērījumi. Šādā gadījumā iespējams nodrošināt elektriskos mērījumus ar nelielu (līdz 10V) spriegumu.

Novecošanas procesā Pirelli un Marschal autoriepu dielektriskā caurlaidība samazinās. Riepu mehānisko parametru noteikšanas un prognozēšanas metodikās var izmantot viegli automatizējamus elektriskos mērījumus, kuros lieto kapacitatīvos sensorus. Riepas ekspluatācijas vai glabāšanas laikā nedrīkst pakļaut augstu temperatūru iedarbībai, jo tad elektriskie mērījumi nedos pareizas mehānisko raksturlielumu vērtības. Elektriskos mērījumus nedrīkst veikt uz slapjām riepām.

Elastomēru mehānisko īpašību noteikšanas un prognozēšanas metodikās, kurās tiek lietoti nemehāniski mērījumi, precīzāku rezultātu sasniegšanai ieteicams vienlaicīgi izmantot dažādus elektriskos (dielektriskā caurlaidība, īpatnējā pretestība) un dažādus optiskos (IS staru optiskā caurlaidība pie dažādiem viļņa garumiem, optiskās caurlaidības starpība dažādos IS spektra apgabalos) mērījumus.

4. GUMIJAS MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU UN KALPOŠANAS LAIKA PROGNOZĒŠANAS METODIKA UN TĀS EKSPERIMENTĀLA PĀRBAUDE VIENVIRZIENA STIEPES DEFORMĀCIJĀ

Gumijas mehānisko īpašību un kalpošanas laika prognozēšanai vispirms nepieciešams iegūt sākotnējos eksperimentālos datus. Šim nolūkam tiek piedāvāts izmantot jaunu gumiju, 1 diennakti, 3 un 7 diennaktis 100⁰C temperatūrā gaisā novecojušu gumiju. Šādām četrām dažādas novecojuma pakāpes gumijām tiek uzņemtas stiepes raksturlīknes, kurām, veicot aproksimāciju ar funkciju (2.4), pēc mazāko kvadrātu metodes tiek noteikti elastīgās īpašības raksturojošie parametri q un d . Katras novecojuma pakāpes gumijai tiek izmērīts sabrukšanas laiks stiepē t^* . Tiek aprēķināts vidējais stiepes ātrums w , ar kādu attālinās parauga darba zonu norobežojošās atzīmes. Tiek izmērīta temperatūra T , kādā tiek realizētas stiepes pārbaudes, novecošanas temperatūra T_n un novecošanas laiks t_n . Eksperimentāli ir konstatēts, ka vislielākās mērījumu relatīvās kļūdas ir saistītas ar sagraušanas laika t^* un elastīgās īpašības raksturojošā parametra q noteikšanu. Tāpēc šiem lielumiem aprēķinātās mērījumu kļūdas Δq un Δt^* tālāk tiek izmantotas prognozēšanas metodikā. Tiek uzskatīts, ka parametrs d ir noteikts absolūti precīzi, jo šī parametra kļūda ir iekļauta lieluma q mērījuma kļūdā. Pārējiem parametriem - l_0 , w , T , T_n , t_n - salīdzinājumā ar lielumiem t^* un q mērījumu relatīvā kļūda ir daudz mazāka, tāpēc prognozēšanas metodikā tiek izmantotas šo parametru vidējās vērtības, bet mērījumu kļūdas netiek lietotas.

Ja zināmas funkcionālas sakarības starp mehāniskiem parametriem q , d , t^* un elektriskiem (χ , ρ , ΔC) vai optiskiem (T , ΔT), tad dotajam gumijas veidam mehānisko parametru noteikšanai var izmantot elektriskos vai optiskos mērījumus.

Prognozēšanas metodikā ir nepieciešams zināt destrukurēšanās enerģijas Q_d , strukturēšanās enerģijas Q_s , atomu režģa konstantes x un strukturēšanās konstantes a vērtības. Pieņemsim, ka šie parametri novecošanas laikā ir nemainīgi lielumi. Lai noteiktu to vērtības, izmantosim sakarību (2.2), kuru četriem stiepes ar konstantu ātrumu un trijiem mākslīgās novecošanas bez mehāniskās slodzes gadījumiem var pārrakstīt šādas vienādojumu sistēmas veidā:

$$0 = g_0 + \int_0^{t_0^*} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{g(t) + k \cdot T}} + a \cdot (1 - g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.1)$$

$$g_1 = g_0 + \int_{t_{n0}}^{t_{n1}} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{k \cdot T_n}} + a \cdot (1 - g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T_n}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.2)$$

$$0 = g_1 + \int_0^{t_1^*} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{\frac{x^3 \cdot W(t)}{g(t)} + k \cdot T}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.3)$$

$$g_3 = g_1 + \int_{t_{n1}}^{t_{n3}} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{k \cdot T_n}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T_n}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.4)$$

$$0 = g_3 + \int_0^{t_3^*} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{\frac{x^3 \cdot W(t)}{g(t)} + k \cdot T}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt. \quad (4.5)$$

$$g_7 = g_3 + \int_{t_{n3}}^{t_{n7}} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{k \cdot T_n}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T_n}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.6)$$

$$0 = g_7 + \int_0^{t_7^*} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{\frac{x^3 \cdot W(t)}{g(t)} + k \cdot T}} + a \cdot (1-g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt. \quad (4.7)$$

Vienādojums (4.1) raksturo jaunas gumijas stiepes ar konstantu ātrumu līdz sagraušanai procesu. Sašūšanās pakāpe šajā procesā izmainās no $\gamma_0=1$ (jaunai gumijai) līdz $\gamma=0$ (atbilst sabrukšanas momentam). Ar t_0^* apzīmēts laiks, kurā paraugs tiek sagrauts.

Vienādojums (4.2) raksturo gumijas novecošanas procesu paaugstinātā temperatūrā T_n bez mehāniskās slodzes klātbūtnes laika posmā no $t_{n0}=0$ līdz $t_{n1}=1$ diennaktij. Sašūšanās pakāpe šajā procesā izmainās no $\gamma_0=1$ līdz γ_1 .

Vienādojums (4.3) apraksta 1 diennakti paaugstinātā temperatūrā T_n novecojušas gumijas stiepes ar konstantu ātrumu līdz sagraušanai procesu (temperatūra stiepes pārbaudes laikā ir T). Gumijas sašūšanās pakāpe pirms stiepes pārbaudes ir γ_1 , sabrukšanas momentā - $\gamma=0$. Ar t_1^* tiek apzīmēts parauga sagraušanas laiks.

Vienādojums (4.4) apraksta gumijas novecošanas procesu paaugstinātā temperatūrā T_n bez mehāniskās slodzes klātbūtnes laika posmā no $t_{n1}=1$ diennakts līdz $t_{n3}=3$ diennaktis. Sašūšanās pakāpe šajā procesā izmainās no γ_1 līdz γ_3 .

Vienādojums (4.5) raksturo 3 diennaktis paaugstinātā temperatūrā T_n novecojušas gumijas stiepes ar konstantu ātrumu līdz sagraušanai procesu (temperatūrā T). Gumijas sašūšanās pakāpe pirms stiepes pārbaudes ir γ_3 , sabrukšanas momentā - $\gamma=0$. Ar t_3^* tiek apzīmēts parauga sagraušanas laiks.

Vienādojums (4.6) raksturo gumijas novecošanas procesu paaugstinātā temperatūrā T_n bez mehāniskās slodzes klātbūtnes laika posmā no $t_{n3}=3$ diennakts līdz $t_{n7}=7$ diennaktis. Sašūšanās pakāpe šajā procesā izmainās no γ_3 līdz γ_7 .

Vienādojums (4.7) apraksta 7 diennaktis paaugstinātā temperatūrā T_n novecojušas gumijas stiepes ar konstantu ātrumu līdz sagraušanai procesu (temperatūrā T). Gumijas sašūšanās pakāpe pirms stiepes pārbaudes ir γ_7 , sabrukšanas momentā - $\gamma=0$. Ar t_7^* tiek apzīmēts parauga sagraušanas laiks.

Vienādojumos (4.1), (4.3), (4.5), (4.7) ietilpstošo elastīgā potenciāla funkciju $W(t)$ katrai gumijas novecošanas pakāpei stiepes ar vienmērīgu ātrumu gadījumiem var atrast, izmantojot vienādojumu (2.7), kurā tiek ievietotas atbilstošas konstantes q un d , stiepes ātrums w , parauga darba zonas garums nedeformētā stāvoklī l_0 . Tātad var uzskatīt, ka funkcija $W(t)$ vienādojumos (4.1), (4.3), (4.5), (4.7) ir zināma.

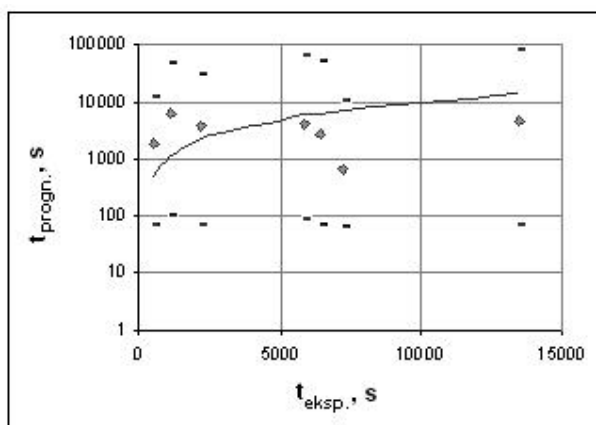
Vienādojumu sistēmā (4.1) - (4.7) ietilpst 7 neatkarīgi vienādojumi, kuros ir 7 nezināmie - Q_d , Q_s , x , a , γ_1 , γ_3 , γ_7 . Tas nozīmē, ka sistēmai eksistē viennozīmīgs atrisinājums. Diemžēl šādas vienādojumu sistēmas analītiska atrisināšana praktiski nav iespējama. Tāpēc risinājums tiek veikts ar skaitliskām metodēm. Darbā ir izstrādāts parametru Q_s , Q_d , x un a skaitlisko aprēķinu algoritms un tam atbilstoša datorprogramma C++ valodā (9.pielikums).

Apskatīsim gadījumu, kad gumijas paraugs ir pakļauts šļūdei konstanta stiepes spēka P iedarbībā. Minēto procesu var aprakstīt ar vienādojuma (2.2) palīdzību, kurš dotajā gadījumā iegūst šādu izskatu:

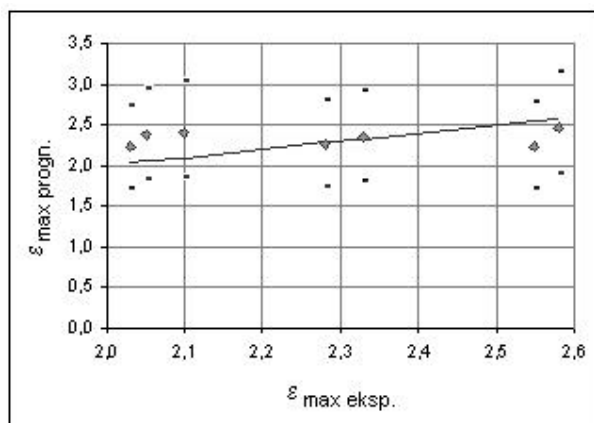
$$0 = g_0 + \int_0^{t_m} \left[-g(t) \cdot e^{-\frac{Q_d}{\frac{x^3 \cdot W(t)}{g(t)} + k \cdot T}} + a \cdot (1 - g(t)) \cdot e^{-\frac{Q_s}{k \cdot T}} \right] \cdot Z \cdot n \cdot dt, \quad (4.8)$$

kur γ_0 - sašūšanās pakāpe pirms parauga noslogošanas, t_m - parauga maksimālais kalpošanas laiks šļūdē, W - elastīgais potenciāls šļūdē, kura noteikšanai izmanto izteiksmi (2.9). Sakarībā (2.9) ietilpstošie paraugu raksturojošie parametri c un d tiek noteikti, veicot šļūdes pārbaudi konstanta stiepes spēka iedarbībā; deformācija ϵ , izmantojot mazāko kvadrātu metodi, tiek aproksimēta ar funkciju (2.8). Jo ilgāk dotajam paraugam tiek veikta šļūdes pārbaude, jo precīzāk var noteikt parametrus c un d . Lai noteiktu parametrus q un d , jāveic stiepes pārbaude vai arī elektriskie/ optiskie mērījumi atkarībā no tā, vai kādas no sakarībām $q=q(\chi)$, $d=d(\chi)$, $q=q(\rho)$, $d=d(\rho)$, $q=q(T)$, $d=d(T)$, $q=q(\Delta T)$, $d=d(\Delta T)$ ir zināmas. Ir jāizmēra šļūdei pakļautā parauga darba zonas šķērsriezuma laukums F_0 un garums l_0 nedeformētā stāvoklī, temperatūra T šļūdes laikā, stiepes spēks P , ātrums w , ar kādu laika posmā no mehāniskās slodzes pielikšanas brīža līdz pilnīgai noslogošanai parauga darba zonu norobežojošās atzīmes attālinās viena no otras. Līdz ar to visi prognozēšanai nepieciešamie dati ir savākti. Vienādojums (4.8) dod iespēju noteikt dotā parauga kalpošanas laiku t_m šļūdē

konstanta stiepes spēka iedarbībā, bet vienādojums (2.8) - maksimālo deformāciju. Darbā šie aprēķini veikti skaitliski; datorprogrammas teksts C++ valodā dots 10.pielikumā. Kalpošanas laika un maksimālās deformācijas skaitlisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dots 4.1. un 4.2.attēlā. Ar rombiņiem attēlotas visvarbūtīgākās prognozējamās kalpošanas laika un maksimālās deformācijas vērtības; ar nelielām svītriņām - prognozes kļūdu intervāla robežas; nepārtraukta līnija raksturo eksperimentālās vērtības, ideālu sakritību starp prognozējamiem un eksperimentālajiem rezultātiem. Kā redzams, visas eksperimentālās kalpošanas laika un maksimālās deformācijas vērtības atrodas prognozējamā kļūdu intervāla robežās.



4.1.att. Prognozējamo un eksperimentāli noteikto gumijas Nr.4 paraugu šļūdē konstanta stiepes spēka iedarbībā kalpošanas laiku salīdzinājums



4.2.att. Prognozējamo un eksperimentāli noteikto gumijas Nr.4 paraugu šļūdē konstanta stiepes spēka iedarbībā maksimālās deformācijas vērtību salīdzinājums

SECINĀJUMI

1. Darbā eksperimentāli ir pierādīta hipotēze par dielektriskās caurlaidības, īpatnējās pretestības un IS staru optiskās caurlaidības mērījumu izmantošanas iespējām elastomēru mehānisko īpašību un ilgizturības prognozēšanā.
2. Ir izstrādāts matemātisks modelis gumijas vienvirziena un divvirziena stiepes, vienvirziena un divvirziena spiedes, bīdes, vērpes, dinamiskas stiepes - spiedes deformācijas gadījumiem. Modelis ļauj aprēķināt gumijas izstrādājuma kalpošanas laiku pie dotās slodzes. Tas saista gumiju raksturojošos mehāniskos, siltuma un elektriskos parametrus, laiku un faktorus, kas ietekmē gumijas novecošanu, - temperatūru un pievadīto enerģiju.
3. Izstrādāts tehniskais nodrošinājums un metodika dielektrisko mērījumu veikšanai elastomēru materiāliem.
4. Izpētītas gumijas dielektriskās caurlaidības, īpatnējās pretestības un IS staru optiskās caurlaidības izmaiņas mākslīgās novecošanas procesā gaisā paaugstinātā temperatūrā. Vienlaicīgi izpētītas mehānisko īpašību - cietības, maksimālās deformācijas, izturības robežas - un elastīgo īpašību izmaiņas.
5. Eksperimentāli konstatēta stohastisko sakarību eksistence starp elastomēru mehāniskām īpašībām - cietību, maksimālo deformāciju, izturības robežu, elastīgās īpašības raksturojošiem moduļiem un dielektrisko caurlaidību, īpatnējo pretestību, IS staru optisko caurlaidību (vai IS staru optiskās caurlaidības starpību). Tas dod iespēju elastomēru mehānisko īpašību noteikšanai izmantot daudz vieglāk automatizējamus, materiālu nesagraujošos elektriskos un optiskos mērījumus.
6. Izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta elastomēru mehānisko īpašību - kalpošanas laika un maksimālās deformācijas prognozēšanas metodika šļūdei konstanta vienvirziena stiepes spēka iedarbībā. Elektriskos un optiskos mērījumus var lietot, lai noteiktu prognozēšanas metodikā nepieciešamos sākotnējos mehāniskos parametrus. Vienlaicīga dažādu elektrisko/ optisko mērījumu izmantošana ļauj palielināt mehānisko parametru noteikšanas precizitāti, kas, savukārt, būtiski var uzlabot prognozēšanas kvalitāti.

LITERATŪRA

1. Abrams I. Mērījumu rezultātu matemātiskā apstrāde. - Rīga: Zvaigzne, 1983. - 139 lpp.
2. Arhipova I., Bāliņa S. Statistika ar Microsoft Excel ikvienam, 1.daļa. - Rīga: Datorzinību centrs, 1999. - 163 lpp.
3. Arhipova I., Bāliņa S. Statistika ar Microsoft Excel ikvienam, 2.daļa. - Rīga: Datorzinību centrs, 2000. - 133 lpp.
4. Fizika/ A.Valtera red. - Rīga: Zvaigzne, 1992. - 733 lpp.
5. Fizikas praktikums/ L.Jansons, A.Zambrāns, A.Badūns u.c. - Rīga: Zvaigzne, 1971. - 485 lpp.
6. Gillen K., Celina M., Keenan M. Methods for Prediction More Confident Lifetimes of Seals in Air Environments// Rubber Chemistry and Technology. - 2000. - V.73. - N2.
7. Gleu J.-U. Rolldynamik des Luftreifens mit einer Vielteilchenmethode und der Methode der Finiten Elemente. Vom Fachbereich Verkehrswesen und Angewandte Mechanik zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation. - Berlin: TU Berlin, 2001. - S. 254
8. Günzler H., Böck H. IR-Spektroskopie, Eine Einführung. - Weinheim: Verlag Chemie, 1990.
9. Hamed G., Park B. The Mechanism of Carbon Black Reinforcement of SBR and NR Vulcanizates// Rubber Chemistry and Technology. - 1999. - V.72. - N5.
10. Hamed G., Zhao J. Tensile Behavior after Oxidative Aging of Gum and Black- Filled Vulcanizates of SBR and NR// Rubber Chemistry and Technology. - 1999. - V.72. - N4.
11. Hesse M., Meier H., Zeeh B. Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie. - Stuttgart: Thieme, 1995.
12. Iljins U., Ziemelis I. Pretestības, kapacitātes un induktivitātes aprēķināšana ar konformo attēlu metodi. - Jelgava: LLU, 1997. - 66 lpp.
13. Kaliske M., Heinrich G. An Extended - Tube Model for Rubber Elasticity: Statistical - Mechanical Theory and Finite Element Implementation// Rubber Chemistry and Technology. - 1999. - V.72.N4.
14. Khairi Nagdi. Gummi-Werkstoffe. - Vogel-Verlag, 1981. - S. 417.
15. Kleeman W., Weber K. Elastomer Processing - Formulas and Tables. - N.Y.: Hanser Gardner, 1998. - 201 p.
16. Martinovs A. Fizikālo lielumu izvēle gumijas novecošanas procesu prognozēšanai// Rēzeknes Augstskolas raksti, 3.sējums. - Rēzekne: RA Izdevniecība, 2001. - 71. - 80.lpp.
17. Martinovs A. Gumijas reoloģiskā modeļa parametru noteikšana// RTU Zinātniskie raksti. 6.sērija. Mašīnzinātne un transports. Mehānika. 7.sējums. - Rīga: RTU izdevniecība, 2002. - 65. - 70.lpp.
18. Martinovs A., Gonca V. A rubber fall model for yield deformation// In: International Conference on bionics and prosthetics, biomechanics and mechanics, mechatronics and robotics. - Varna, 2004. - Vol.4. - p. 47 - 50.
19. Martinovs A., Kangro I. Korelācijas pētījumi starp gumijas mehāniskiem un elektriskiem raksturlielumiem// Otrais pasaules latviešu zinātnieku kongress. - Rīga, 2001. - 555.lpp.

20. Meirovics I. Organiskā ķīmija. - Rīga: Zvaigzne, 1992. - 80. - 82., 252. - 254.lpp.
21. Nagla J., Savelļevs P., Cars A. Siltumtehnikas aprēķini piemēros. - Rīga: Zvaigzne, 1982. - 309 lpp.
22. Nagla J., Savelļevs P., Cimdiņš R. Siltumtehnikas pamati. - Rīga: Zvaigzne, 1981. - 355 lpp.
23. Petrovskis I. Mehānika. - Rīga: Zvaigzne, 1976. - 360 lpp.
24. Sau K., Chaki T., Khastgir D. The Effect of Compressive Strain and Stress on Electrical Conductivity of Conductive Rubber Composites// Rubber Chemistry and Technology. - 2000. - V.73. - N2.
25. Seibert D., Schöche N. Direct Comparison of Some Recent Rubber Elasticity Models// Rubber Chemistry and Technology. - 2000. - V.73. - N2.
26. Shariff M. Strain Energy Function for Filled and Unfilled Rubberlike Material// Rubber Chemistry and Technology. - 2000. - V.73. - N1.
27. Skoog D.A., Leary J.J. Instrumentelle Analytik. - Berlin: Springer, 1996.
28. Zolbergs J. Vispārīgā elektrotehnika. - Rīga: Zvaigzne, 1974. - 536 lpp.
29. Андросян Ю.О., Попов А.А., Разумовский С.Д., Ронкин Г.М. Термомеханическая модификация этилен-пропиленового каучука хлорсодержащими реагентами// Каучук и резина. - 2002. - №5. - с. 6 - 9.
30. Анели Д.Н., Болоташвили М.М. Температурная зависимость электропроводности наполненных резин в условиях деформации// Каучук и резина. - 2001. - №3. - с. 8 - 10.
31. Ашарина И.В. Основы программирования на языках С и С++. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2002. - 207 с.
32. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. - Москва: Химия, 1971. - 363 с.
33. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичного материала. - Москва: Химия, 1964. - 388 с.
34. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - Москва: Статистика, 1975. - 264 с.
35. Гамлицкий Ю.А., Мудрук В.И., Швагич М.В. Упругий потенциал наполненных резин// Каучук и резина. - 2002. - №3. - с. 29 - 39.
36. Гаришин О.К. Структурно - статистическая модель наполненного эластомера и ее применение для исследования процессов разрушения// Каучук и резина. - 2000. - №2. - с. 16 - 18.
37. Гольберг И.И. Механическое поведение полимерных материалов. - Москва: Химия, 1970. - 190 с.
38. Гольдман А.Я. Прогнозирование деформационно- прочностных свойств полимерных и композиционных материалов.- Ленинград: Химия, Ленинградское отделение, 1988.- 272 с.
39. Губанов В.В. О расчете долговечности резины// В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 46. - Рига: Зинатне, 1985. - с. 33 - 36.
40. Губанов В.В., Мурашка Х.И. Долговечность резины при эксплуатации // В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 44. - Рига: Зинатне, 1984. - с. 16 - 21.
41. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров. - Москва: Химия, 1978. - 326 с.
42. Гурта Ф. Измерение электрического сопротивления шин и резиновых изделий// Каучук и резина. - 2002. - №1. - с. 31 - 32.
43. Дак Э. Пластмассы и резины. - Москва: Мир, 1976. - 148 с.
44. Донской А.А., Шашкина М.А., Заиков Г.Е., Асеева Р.М. Влияние вулканизирующей группы на свойства резин на основе хлорсульфированного полиэтилена// Каучук и резина. - 2000. - №1. - с. 5 - 8.

45. Дружинин В.А. Оценка длительной прочности резиновых изделий при больших деформациях// В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 44. - Рига: Зинатне, 1984. - с. 44 - 53.
46. Дьяконов В. Mathematica 4: учебный курс. - Санкт- Петербург: Питер, 2001. - 656 с.
47. Дьяконов В.П. Компьютерная математика, теория и практика. - Москва: Нолидж, 2001. - 1296 с.
48. Зуев Ю.С. Разрушение эластомеров в условиях характерных для эксплуатации. - Москва: Химия, 1980. - 287 с.
49. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. - Москва: Наука, 1970. - 280 с.
50. Кессених Р.М. Методы лабораторных испытаний электроизоляционных материалов. - Москва: Высшая школа, 1964. - 211 с.
51. Красников А.М. Влияние напряженного состояния на микромеханику разрушения полимеров// В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 52. - Рига, 1990. - с. 155 - 175.
52. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. - Москва: Мир, 1974. - 338 с.
53. Лавендел Э.Э. Расчет резинотехнических изделий.- Москва: Машиностроение, 1976. - 232 с.
54. Лейканд М.А., Лавендел Э.Э, Львов С.В., Болотин В.З., Губанов В.В. Приближенная реологическая модель тонкослойного эластомерного подшипника// В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 36. - Рига, 1980. - с. 157 - 168.
55. Мартинов А., Гонца В. Исследование механических свойств и диэлектрической проницаемости резины в процессе старения // In: International Conference on bionics and prosthetics, biomechanics and mechanics, mechatronics and robotics. - Varna, 2004. - Vol.4. - p. 41 - 46.
56. Материаловедение/ Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г. Мухин и др. - Москва: Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2001. - 646 с.
57. Мельник Л.А., Вихирева Н.П., Боготыренко Е.А., Пупкова Н.Г. К вопросу о получении электропроводящих резин// Каучук и резина. - 2002. - №6. - с. 6 - 7.
58. Москвитин В.В. Циклическое нагружение элементов конструкций. - Москва: 1981. - 344 с.
59. Никитин Ю.Н., Анিকেев В.И., Никитин И.Ю. Оптимизация свойств электропроводящих эластомерных композиций с комбинацией печного высокопористого техуглерода и графита// Каучук и резина. - 2002. - №5. - с. 14 - 16.
60. Никитин Ю.Н., Никитин И.Ю. О влиянии донорно-акцепторных взаимодействий в фазе техуглерода на усиление эластомеров// Каучук и резина. - 2001. - №3. - с. 14 - 17.
61. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. - Москва: Высшая школа, 2000. - 494 с.
62. Павловскис А. - М. А. Расчет температурного поля цилиндрического амортизатора в режиме сканирования частотного интервала// В кн.: Вопросы динамики и прочности, вып. 44. - Рига: Зинатне, 1984. - с. 63 - 69.
63. Полинг Л. Общая химия. - Москва: Мир, 1974. - 846 с.
64. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x, Том 2. - Москва: Диалог-МИФИ, 1999. - 304 с.
65. Прикладные методы расчета изделий из высокоэластичных материалов/ С.И.Дымников, Э.Э.Лавендел, А.А.Павловскис и др. - Рига: Зинатне, 1980. - 238 с.

66. Ржаницын А. Теория ползучести. - Москва: Литература по строительству, 1968. - 416 с.
67. Соловьев М.Е., Раухваргер А.Б., Капустин А.А. Феноменологическая модель вязкоупругих свойств резины при одноосном растяжении// Каучук и резина. - 2002. - №4. - с. 3 - 7.
68. Степаненко Б.Н. Органическая химия.- Москва: Медицина, 1970. - с. 53 - 59.
69. Технология конструкционных материалов/ Под общей ред. А.М.Дальского. - Москва: Машиностроение, 1985. - 448 с.
70. Физика твердого тела/ И.К.Верещагин, С.М.Кокин, В.А.Никитенко и др. - Москва: Высшая школа, 2001. - 237 с.
71. Хричиков В.В. Определение изменяющейся во времени жесткости резиновых деталей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Рига: РПИ, 1973. - 133 с.
72. Цитович И.К. Курс аналитической химии. - Москва: Высшая школа, 1994. - 495 с.
73. Экспериментальная механика/ Р.К.Вафин, О.С.Нарайкин, Б.В. Букеткин и др. - Москва: Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2004. - 135 с.
74. Яновский Ю.Г., Гамлицкий Ю.А., Згаевский В.Э., Басс Ю.П. Некоторые проблемы механики эластомерных нанокompозитов: объекты, модели, методы// Каучук и резина. - 2002. - №5. - с. 20 - 25.

Standarti

75. ASTM D 746-98:1998. Standard Test Method for Brittleness Temperature of Plastics and Elastomers by Impact.
76. ASTM D 2137-94:1994. Standard Test Methods for Rubber Property - Brittleness Point of Flexible Polymers and Coated Fabrics.
77. DIN 4060:1988. Dichtmittel aus Elastomeren für Rohrverbindungen von Abwässerkanälen und -leitungen. Anforderungen und Prüfungen (Abschn.4.1.9. Zugspannungsrelaxation).
78. DIN 53386:1982. Testing of plastics and elastomers, Exposure to natural weathering.
79. DIN 53479:1976. Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren. Bestimmung der Dichte (Verfahren A).
80. DIN 53504:1994. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch.
81. DIN 53505:2000. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Härteprüfung nach Shore A und Shore D.
82. DIN 53506:1990. Testing of rubber; determination of needle tear resistance.
83. DIN 53507:1983. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung des Weiterreißwiderstandes von Elastomeren Streifenprobe.
84. DIN 53508:2000. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Künstliche Alterung.
85. DIN 53509-1:2001. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Beständigkeit gegen Rißbildung unter Ozonwirkung. Teil 1: Statische Beanspruchung.
86. DIN 53509-2:1994. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Beständigkeit gegen Rißbildung unter Ozonwirkung. Teil 2: Referenz - Verfahren zur Bestimmung der Ozonkonzentration in Prüfkammern.
87. DIN 53512, 2000. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Rückprall- Elastizität.
88. DIN 53513-1990. Determination of the viscoelastic properties of elastomers on exposure to forced vibration at non-resonant frequencies.
89. DIN 53515:1990. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren und von Kunststoff- Folien. Weiterreißversuch mit der Winkelprobe nach Graves mit Einschnitt.
90. DIN 53516:1987. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung des Abriebs.

91. DIN 53521, 1987. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase.
92. DIN 53523-3: 1976. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Prüfung mit dem Scherscheiben-Viskosimeter nach Mooney, Bestimmung der Viskosität nach Mooney.
93. DIN 53530:1981. Prüfung organischer Werkstoffe. Trennversuch an haftend verbundenen Gewerblagen.
94. DIN 53531-1:1990. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Haftung zu starren Materialien Prüfung mit einer Platte.
95. DIN 53533-1:1988. Testing of elastomeres; testing of heat generation and service life during the fatigue test (flexometer test); bases principles.
96. DIN 53533-2:1988. Testing of elastomers; testing of heat generation and service life during the fatigue test (flexometer test); rotary flexometer.
97. DIN 53533-3:1988. Testing of elastomers; testing of heat generation and service life during the fatigue test (flexometer test); compression-flexometer.
98. DIN 53534:2000. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der linearen Abmessungen von Probekörpern und Fertigteilen.
99. DIN 53535:1982. Testing of rubber; general requirements for dynamic testing.
100. DIN 53536:1992. Testing of rubber; determination of gas permeability.
101. DIN 53537:1985. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Spannungsrelaxation unter Druck.
102. DIN 53539:1979. Prüfung von Elastomeren. Auswertung von Weiterreiß-, Trenn- und Schälversuchen.
103. DIN 53541:1980. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung der Kristallisation durch Messung der Härte.
104. DIN 53545:1990. Determination of low-temperature behaviour of elastomers; principles and test methods.
105. DIN ISO 34-1:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of tear strength - Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces (ISO 34-1:2004).
106. DIN ISO 48-2003. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD) (ISO 48:1994 + Amd. 1:1999).
107. DIN ISO 132:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of flex cracking and crack growth (De Mattia) (ISO 132:1999).
108. DIN ISO 812:2004. Rubber, vulcanized - Determination of low-temperature brittleness (ISO 812:1991).
109. DIN ISO 813:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of adhesion to a rigid substrate - 90° peel method (ISO 813:1997).
110. DIN ISO 815:2000. Prüfung von Kautschuk und Elastomeren. Bestimmung des Druckverformungsrestes bei Umgebungs-, erhöhten oder niedrigen Temperaturen.
111. DIN ISO 1817:2004. Rubber, vulcanized - Determination of the effect of liquids (ISO 1817:1999).
112. DIN ISO 1827:1993. Rubber, vulcanized or thermoplastic; determination of modulus or adhesion to rigid plates; quadruple shear method; identical with ISO 1827:1991.
113. DIN ISO 2285:1994. Elastomere oder thermoplastische Elastomere. Bestimmung des Zugverformungsrestes bei üblichen und hohen Temperaturen.
114. DIN ISO 2878:1997. Elastomere. Antistatische und leitende Erzeugnisse. Bestimmung des elektrischen Widerstandes.
115. DIN ISO 3384:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of stress relaxation in compression at ambient and at elevated temperatures (ISO 3384:1999, including Amendment 1:2001).
116. DIN ISO 4661-1:1995. Elastomere oder thermoplastische Elastomere. Herstellung von Proben und Probekörpern. Teil1: Physikalische Prüfungen.

117. DIN ISO 7743:1993. Rubber, vulcanized or thermoplastic; determination of compression stress-strain properties; identical with ISO 7743:1989 (status of 1990).
118. DIN ISO 8013:1993. Rubber, vulcanized; determination of creep in compression or shear; identical with ISO 8013:1988.
119. DIN EN 681-1:1998. Elastomer- Dichtungen. Werkstoff- Anforderungen für Rohrleitungs- Dichtungen, Anwendungen in der Wasserversorgung und Entwässerung. Teil 1: Vulkanisierter Gummi (Anhang A: Bestimmung der Spannungsrelaxation im Zugversuch).
120. DIN EN ISO 868 Kunststoffe und Hartgummi. Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore - Härte), 1998.
121. DIN EN 1297:2004. Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water; German version EN 1297:2004.
122. DIN EN 1989:2000. Thermoplastics piping systems - Joints for buried non-pressure sewage applications - Test method for long-term sealing performance of joints with thermoplastic elastomer (TPE) seals by estimating the sealing pressure; German version EN.
123. DIN EN ISO 4674-1:2003. Rubber- or plastics-coated fabrics - Determination of tear resistance - Part 1: Constant rate of tear methods (ISO 4674-1:2003); German version EN ISO 4674-1:2003.
124. DIN EN 6179:2001. Elastomere oder thermoplastische Elastomere, Elastomerfolien und elastomer- beschichtete Gewebe. Bestimmung der Durchlässigkeitsrate von flüchtigen Flüssigkeiten (gravimetrisches Verfahren).
125. DIN EN ISO 7854:1997. Rubber- or plastics-coated fabrics - Determination of resistance to damage by flexing (ISO 7854:1995); German version EN ISO 7854:1997.
126. DIN EN ISO 8031:1997. Rubber and plastics hoses and hose assemblies - Determination of electrical resistance (ISO 8031:1993); German version EN ISO 8031:1997.
127. DIN EN 12280-1:1998. Rubber- or plastic-coated fabrics - Accelerated ageing tests - Part 1: Heat ageing; German version EN 12280-1:1997.
128. DIN EN 12280-2:2002. Rubber- or plastic-coated fabrics - Accelerated ageing tests - Part 2: Physical ageing: Effect of light or weathering; German version EN 12280-2:2001.
129. DIN EN 12280-3:2002. Rubber- or plastic-coated fabrics - Accelerated ageing tests - Part 3: Environmental ageing; German version EN.
130. DIN EN 12332-1:1998. Rubber or plastic coated fabrics - Determination of bursting strength - Part 1: Steel ball method; German version EN.
131. ISO 34-1:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces.
132. ISO 34-2:1996. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 2: Small (Delft) test pieces.
133. ISO 36:1999. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of adhesion to textile fabric.
134. ISO 37:2005. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tensile stress-strain properties.
135. ISO 48:1994/Amd 1:1999. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD).
136. ISO 132:1999. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of flex cracking and crack growth (De Mattia).
137. ISO 188:1998/Cor 1:2003. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Accelerated ageing and heat resistance tests.

138. ISO 812:1991. Rubber, vulcanized . Determination of low-temperature brittleness.
139. ISO 813:1997. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of adhesion to a rigid substrate. 90 degree peel method.
140. ISO 814:1996. Rubber, vulcanized. Determination of adhesion to metal. Two-plate method.
141. ISO 815:1991/Cor 1:1993. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of compression set at ambient, elevated or low temperatures.
142. ISO 1382:2002. Rubber - Vocabulary.
143. ISO 1431-1:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Resistance to ozone cracking. Part 1: Static and dynamic strain testing.
144. ISO 1431-3:2000. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Resistance to ozone cracking. Part 3: Reference and alternative methods for determining the ozone concentration in laboratory test chambers.
145. ISO 1432:1988. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of low temperature stiffening (Gehman test).
146. ISO 1629:1995. Rubber and latices - Nomenclature.
147. ISO 1817:1999. Rubber, vulcanized. Determination of the effect of liquids.
148. ISO 1827:1991. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of modulus in shear or adhesion to rigid plates. Quadruple shear method.
149. ISO 1853:1998. Conducting and dissipative rubbers, vulcanized or thermoplastic. Measurement of resistivity.
150. ISO 1923:1981. Cellular plastics and rubbers; Determination of linear dimensions.
151. ISO 2230:2002. Rubber products. Guidelines for storage.ISO 2878:2005. Rubber. Antistatic and conductive products. Determination of electrical resistance.
152. ISO 2285:2001. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tension set under constant elongation, and of tension set, elongation and creep under constant tensile load.
153. ISO 2781:1988/Cor 1:1996. Rubber, vulcanized. Determination of density.
154. ISO 2782:1995. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of permeability to gases.
155. ISO 2921:1997. Rubber, vulcanized. Determination of low-temperature characteristics. Temperature-retraction procedure (TR test).
156. ISO 2951:1974. Vulcanized rubber. Determination of insulation resistance.
157. ISO 3384:2005. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of stress relaxation in compression at ambient and at elevated temperatures.
158. ISO 3387:1994/Cor 1:2000. Rubber. Determination of crystallization effects by hardness measurements.
159. ISO 4647:1982. Rubber, vulcanized. Determination of static adhesion to textile cord. H-pull test.
160. ISO 4648:1991. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of dimensions of test pieces and products for test purposes.
161. ISO 4649:2002. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device.
162. ISO 4650:2005. Rubber. Identification. Infrared spectrometric method.
163. ISO 4651:1988. Cellular rubbers and plastics; determination of dynamic cushioning performance.
164. ISO 4662:1986. Rubber. Determination of rebound resilience of vulcanizates (Schob-Pendel).
165. ISO 4663:1986. Rubber. Determination of dynamic behaviour of vulcanizates at low frequencies. Torsion pendulum method.
166. ISO 4664-1:2005. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of dynamic properties. Part 1: General guidance.

167. ISO 4665:1998. Rubber, vulcanized and thermoplastic. Resistance to weathering.
168. ISO 4666-1:1982. Rubber, vulcanized. Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing. Part 1: Basic principles.
169. ISO 4666-2:1982. Rubber, vulcanized. Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing. Part 2: Rotary flexometer.
170. ISO 4666-3:1982. Rubber, vulcanized. Determination of temperature rise and resistance to fatigue in flexometer testing. Part 3: Compression flexometer.
171. ISO 5600:1986. Rubber. Determination of adhesion to rigid materials using conical shaped parts.
172. ISO 5603:1986. Rubber, vulcanized. Determination of adhesion to wire cord.
173. ISO 6133:1998. Rubber and plastics. Analysis of multi-peak traces obtained in determinations of tear strength and adhesion strength.
174. ISO 6179:1998. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Rubber sheets and rubber-coated fabrics - Determination of transmission rate of volatile liquids (gravimetric technique).
175. ISO 6471:1994. Rubber, vulcanized. Determination of crystallization effects under compression.
176. ISO 6505:1997. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tendency to adhere to and to corrode metals.
177. ISO 6914:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of ageing characteristics by measurement of stress relaxation.
178. ISO 6943:1984. Rubber, vulcanized. Determination of tension fatigue.
179. ISO 7619-1:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of indentation hardness . Part 1: Durometer method (Shore hardness).
180. ISO 7619-2:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of indentation hardness . Part 2: IRHD pocket meter method.
181. ISO 7743:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of compression stress-strain properties.
182. ISO 7854:1995. Rubber- or plastics-coated fabrics. Determination of resistance to damage by flexing.
183. ISO 8013:1988. Rubber, vulcanized. Determination of creep in compression or shear.
184. ISO/TR 9272:2005. Rubber and rubber products. Determination of precision for test method standards.
185. ISO 11346:2004. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Estimation of life-time and maximum temperature of use.
186. ISO 12244:1997. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of elongation, creep and tension set at constant load.
187. ISO 12965:2000. Butadiene rubber. Determination of microstructure by infra-red spectrometry.
188. ISO 15113:1999. Rubber. Determination of frictional properties.
189. ISO 18064:2003. Thermoplastic elastomers. Nomenclature and abbreviated terms.
190. ISO 18517:2005. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Hardness testing. Introduction and guide.
191. ISO 18899:2004. Rubber. Guide to the calibration of test equipment.
192. ISO 19004:2004. Rubber and rubber products. Determination of the sensitivity of test methods.
193. ISO 23529:2004. Rubber. General procedures for preparing and conditioning test pieces for physical test methods.
194. ISO 23794:2003. Rubber, vulcanized or thermoplastic. Abrasion testing - Guidance.
195. LVS EN 495-5:2002. Ūdensnecaurlaidīgās loksnēs. Loksnības noteikšana zemās temperatūrās - 5.daļa: jumta hidroizolācijas plastmasas un gumijas loksnēs.
196. LVS EN ISO 845:2001. Putuplasti un porainās gumijas. Šķietamā blīvuma noteikšana.

197. LVS EN 1296:2002. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta bitumena, gumijas un plastmasas loksnes. Mākslīgā novecošanas metode, izturot paaugstinātā temperatūrā.
198. LVS EN 1297:2005. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, gumijas un plastmasas loksnes. Mākslīgās novecošanas metode, ilgstoši pakļaujot UV starojuma, paaugstinātas temperatūras un ūdens kombinētai iedarbībai.
199. LVS EN ISO 1421:2001. Tekstilizstrādājumi ar kaučuka vai plastmasas pārklājumu. Stiepes izturības un pagarinājuma noteikšana pārrāvumā.
200. LVS EN 1734:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Ūdens iespiešanās pretestības noteikšana. Zemspiediena metode.
201. LVS EN 1735:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Elastības noteikšana.
202. LVS EN ISO 1746:2001. Gumijas vai plastmasas šļūtenes un cauruļvadi. Lieces testi.
203. LVS EN 1875-3:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Saraušanas pretestības noteikšana - 3.daļa: trapecveida metode.
204. LVS EN 1876-1:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Zemas temperatūras tests - 1.daļa: Lieces tests.1
205. LVS EN 1876-2:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Zemas temperatūras tests - 2.daļa: triecienpārbaude uz cilpveidā saliekta auduma.
206. LVS EN ISO 1923:2001. Putuplasti un porainās gumijas. Lineāro izmēru noteikšana.
207. LVS EN 1928:2002. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, gumijas un plastmasas loksnes. Ūdens necaurlaidības noteikšana.
208. LVS EN 1931:2002 +AC. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, gumijas un plastmasas loksnes. Ūdens tvaika caurlaidības noteikšana.
209. LVS EN ISO 2231:2001. Tekstilizstrādājumi ar kaučuka vai plastmasas pārklājumu. Kondicionēšanas un testēšanas standartapstākļi.
210. LVS EN ISO 2286-3:2001. Tekstilizstrādājumi ar kaučuka vai plastmasas pārklājumu. Ruļļu īpašību noteikšana - 3.daļa: biezuma noteikšanas metode.
211. LVS EN ISO 4023:2001. Gumijas šļūtenes tvaikam. Testa metodes.
212. LVS EN ISO 4080:2002. Gumijas un plastmasas šļūtenes un to sastāvdaļas. Gāzes caurlaidības noteikšana.
213. LVS EN ISO 4651:2001. Porainās gumijas un putuplasti. Dinamiskās amortizācijas rādītāju noteikšana.
214. LVS EN ISO 4671:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes un to komplektācija. Izmēru noteikšanas metodes.
215. LVS EN ISO 4672:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Elastības testi pazeminātā temperatūrā.
216. LVS EN ISO 5470-1:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu izstrādājumi. Nodilumizturības noteikšana - 1.daļa: Tābera abrazīvs.
217. LVS EN ISO 5981:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu izstrādājumi. Kombinētās bīdes lieces un berzes pretestības noteikšana.
218. LVS EN ISO 6945:2001 +A1. Gumijas šļūtenes. Ārējā apvalka nodilumizturības noteikšana.
219. LVS EN ISO 7662:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Iekšējā pārklājuma nodiluma noteikšana.
220. LVS EN ISO 7854:2001. Tekstilizstrādājumi ar kaučuka vai plastmasas pārklājumu. Bojājumizturības noteikšana liecot.
221. LVS EN ISO 8031:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes un to komplektācija. Elektriskās pretestības noteikšana.
222. LVS EN ISO 8580:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Izturības noteikšana pret ultravioleto starojumu statistiskos apstākļos.
223. LVS EN ISO 10960:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Izturības pret ozonu novērtējums dinamiskos apstākļos.

224. LVS EN 12280-1:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Paātrinātās novecošanas testi - 1.daļa: novecošana siltuma iedarbībā.
225. LVS EN 12280-2:2002. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Paātrinātās vecošanas testi - 2.daļa: fiziska vecošana: gaismas un klimatisko faktoru ietekme.
226. LVS EN 12280-3:2002. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Paātrinātās vecošanas testi - 3.daļa: vecošana vides iedarbībā.
227. LVS EN 12332-1:2001. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Plaisāšanas izturības noteikšana - 1.daļa: tērauda bumbiņas metode.
228. LVS EN 12332-2:2003. Gumijas vai plastmasas pārklājumu tekstilizstrādājumi. Plaisāšanas izturības noteikšana - 2.daļa: hidrauliskā metode.
229. LVS EN 12691:2002. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, plastmasas un gumijas loksnes. Triecienizturības noteikšana.
230. LVS EN 12730:2002. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, plastmasas un gumijas loksnes. Statiskas slodzes izturības noteikšana.
231. LVS EN 13416:2002. Ūdensnecaurlaidīgās lokanās loksnes. Jumta hidroizolācijas bitumena, gumijas un plastmasas loksnes. Paraugu ņemšanas noteikumi.
232. LVS EN 27326:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Izturības pret ozonu novērtējums statiskos apstākļos.
233. LVS EN 28033:2001. Gumijas un plastmasas šļūtenes. Komponentu savstarpējās adhēzijas noteikšana.
234. LVS EN 50289-1-3:2002. Sakaru kabeļi. Pārbaudes metožu specifiskācijas - 1-3.daļa: elektriskās pārbaudes metodes. Dielektriskā stiprība.
235. LVS EN 60247:2004. Izolējoši šķidrums. Relatīvās dielektriskās caurlaidības, dielektrisko zudumu koeficienta ($\tan \delta$) un īpatnējās omiskās pretestības mērīšana.
236. LVS EN 60811-2-1:2002 +A1. Elektrokabeļu un optisko kabeļu izolācijas un apvalku materiāli. Kopīgās testēšanas metodes - 2-1.daļa: specifiskās metodes elastomēra savienojumiem - Ozonnoturības, karstās stiepes pretestības un minerāleļļas noturības testi.
237. LVS EN 60811-5-1:2003 /A1:2004. Elektrokabeļu un optisko kabeļu izolācijas un apvalku materiāli. Kopīgās testēšanas metodes. 5.daļa: īpašās pildmateriālu pārbaudīšanas metodes. - 1.sadaļa: pilēšanas temperatūra. Eļļas atdalīšanās. Trauslums pazeminātā temperatūrā. Kopējais skābesskaitlis. Korozīvu komponentu neesība. Dielektriskā caurlaidība 23 °C temperatūrā. Īpatnējā pretestība līdzstrāvai 23 °C un 100 °C temperatūrā.
238. LVS EN 61620:2003. Izolējošie šķidrums. Dielektrisko zudumu koeficienta noteikšana mērot vadītspēju un kapacitāti. Testēšanas metode.
239. LVS HD 22.2 S3:2002. Kabeļi ar gumijas izolāciju un nominālo spriegumu līdz un ieskaitot 450/750 V - 2.daļa: testu metodes.
240. ГОСТ 209-75. Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отрыве.
241. ГОСТ 252-75. Резина. Метод определения относительного гистерезиса и полезной упругости при растяжении.
242. ГОСТ 262-93. Резина. Определение сопротивления раздиру (раздвоенные, угловые и серповидные образцы).
243. ГОСТ 263-75. Резина. Метод определения твердости по Шору А.
244. ГОСТ 265-77. Резина. Методы испытаний на кратковременное статическое сжатие.
245. ГОСТ 267-73. Резина. Методы определения плотности.
246. ГОСТ 269-66. Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний.

247. ГОСТ 270-75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении.
248. ГОСТ 408-78. Резина. Методы определения морозостойкости при растяжении.
249. ГОСТ 411-77. Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отслаивании.
250. ГОСТ 426-77. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении.
251. ГОСТ 7912-74. Резина. Метод определения температурного предела хрупкости.
252. ГОСТ 9982-76. Резина. Методы определения релаксации напряжения при сжатии.
253. ГОСТ 9983-74. Резина. Методы испытаний на многократный продольный изгиб образцов с прямой канавкой.
254. ГОСТ 10201-75. Каучуки и резиновые смеси. Метод определения жесткости и эластического восстановления по Дефо.
255. ГОСТ 10269-75. Резина. Метод определения сопротивления старению по ползучести.
256. ГОСТ 10828-75. Резина. Метод определения динамического модуля и модуля внутреннего трения при знакопеременном изгибе с вращением.
257. ГОСТ 10952-75. Резина. Методы определения усталостной выносливости при знакопеременном изгибе с вращением.
258. ГОСТ 11053-75. Резина. Метод определения условно-равновесного модуля.
259. ГОСТ 12251-77. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при качении с проскальзыванием.
260. ГОСТ 13270-85. Резина. Метод определения способности к кристаллизации при сжатии.
261. ГОСТ 13808-79. Резина. Метод определения морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия.
262. ГОСТ 14863-69. Резина. Метод определения прочности связи резина-корд (Н-метод).
263. ГОСТ 20403-75. Резина. Метод определения твердости в международных единицах (от 30 до 100 IRHD).
264. ГОСТ 23016-78. Резина. Метод определения сопротивления раздиру на образцах-полосках.
265. ГОСТ 23020-78. Резина. Метод определения работы разрушения при растяжении.
266. ГОСТ 23326-78. Резина. Методы динамических испытаний. Общие требования.
267. ГОСТ 23509-79. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности.
268. ГОСТ 23785.7-89. Ткань кордная. Метод определения прочности связи с резиной.
269. ГОСТ 26365-84. Резина. Общие требования к методам усталостных испытаний.
270. ГОСТ 9.024-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к термическому старению.
271. ГОСТ 9.026-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы ускоренных испытаний на стойкость к озонному и термосветоозонному старению.
272. ГОСТ 9.029-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к старению под действием статической деформации сжатия.
273. ГОСТ 9.030-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред.
274. ГОСТ 9.061-75. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию жидких агрессивных сред при вращательном движении в режиме трения.

275. ГОСТ 9.065-76. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Метод испытаний на стойкость к воздействию жидких агрессивных сред при постоянном растягивающем напряжении.
276. ГОСТ 9.066-76. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Метод испытания на стойкость к старению при воздействии естественных климатических факторов.
277. ГОСТ 9.070-76. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Методы испытаний на стойкость к воздействию жидких агрессивных сред при статической деформации сжатия.
278. ГОСТ 9.701-79. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины. Метод испытаний на стойкость к радиационному старению.
279. ГОСТ 9.709-83. Единая система защиты от коррозии и старения. Резины пористые. Метод ускоренных испытаний на стойкость к термическому старению.
280. ГОСТ 8.544-86. Государственная система обеспечения единства измерений. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь твердых диэлектриков. Методика выполнения измерений в диапазоне частот от 10 в ст. 9 до 10 в ст. 10 Гц.
281. ГОСТ Р МЭК 811-5-1-95. Специальные методы испытаний герметизирующих составов электрических кабелей. Температура колебания. Масловыделение. Хрупкость при низкой температуре. Общее кислотное число. Отсутствие коррозионно-активных компонентов. Диэлектрическая проницаемость при 23 град. С. Условное электрическое сопротивление при 23 и 100 град. С.

Interneta resursi

282. IS staru spektroskopija/ Internets. - <http://www.ir-spektroskopie.de/>
283. IS staru spektroskopija/ Internets. - http://www.chemlin.de/chemie/ir_spektroskopie.htm
284. IS staru absorbcijas tabulas/ Internets. - http://scienceofspectroscopy.info/wiki/index.php?title=IR_Absorption_Table
285. IS staru absorbcijas tabulas/ Internets. - <http://chipo.chem.uic.edu/web1/ocol/spec/IRTable.htm>

PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2006.gada 25.aprīlī Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātē, Ezermalas ielā 6., 310. auditorijā

OFICIĀLIE OPONENTI

Dr.habil.sc.ing., LZA akadēmiķis Juris JANSONS
Polimēru Mehānikas institūta direktors
Latvijas Universitāte

Dr.sc.ing. Ēriks KRONBERGS
profesors
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Dr.habil.sc.ing., LZA kor.loc. Jānis VĪBA
profesors, Mehānikas institūta direktors
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Andris Martinovs

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 11 pielikumus, 112 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 225 lappuses. Literatūras sarakstā ir 285 nosaukumi.

