

*VPP „Modernu funkcionālu materiālu mikroelektronikai, nanoelektronikai, fotonikai, biomedicīnai un konstruktīvo kompozītu, kā arī atbilstošo tehnoloģiju izstrāde”*

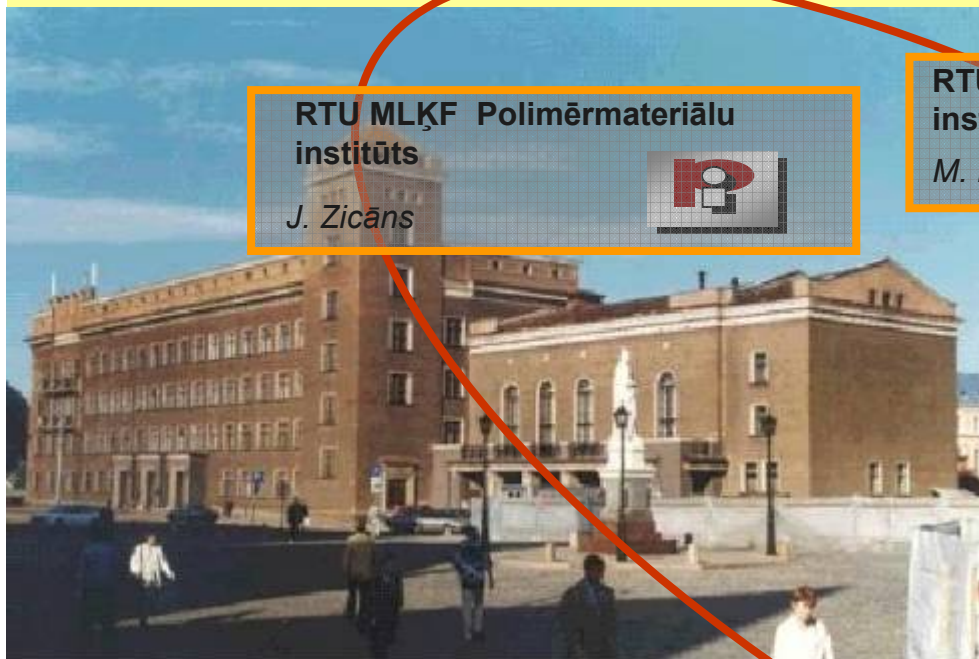
## 6. projekts

# „FUNKCIONĀLO MATERIĀLU/NANOKOMPOZĪTU DIZAINS, TEHNOLOĢIJU IZSTRĀDE UN TO ĪPAŠĪBAS,,

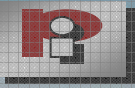


6. projekts „Funkcionālo materiālu/nanokompozītu dizains, tehnoloģiju izstrāde un to īpašības„

# SADARBĪBAS PARTNERI



**RTU MLKF Polimērmateriālu institūts**  
*J. Zicāns*



**RTU MLKF Tehniskās fizikas institūts**  
*M. Knite*



**RTU BF Materiālu un konstrukciju institūts**  
*A. Čate*



**LU Polimēru mehānikas institūts**  
*J. Jansons*



**LU Ķīmijas fakultāte**  
*V. Kaļķis*



6. projekts „Funkcionālo materiālu/nanokompozītu dizains, tehnoloģiju izstrāde un to īpašības„

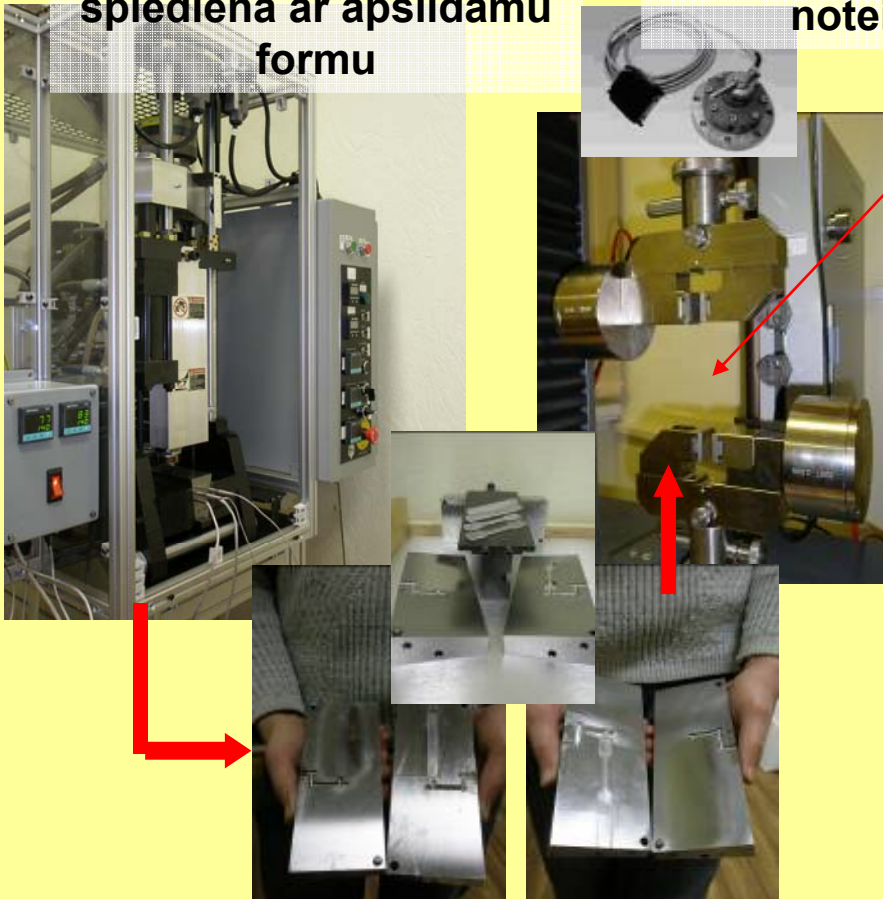
## Projekta izpildītāju kompetence

Bakalaura un maģistra programmu studenti	<b>9</b>
Doktoranti	<b>6</b>
Jaunie zinātņu doktori	<b>3</b>
Zinātņu un habilitētie zinātņu doktori	<b>17</b>
Maģistri	<b>5</b>
Inženieri un tehniskie darbinieki	<b>5</b>

# 6. projekta 5. posma ietvaros iegādātās/paškonstruētās iekārtas

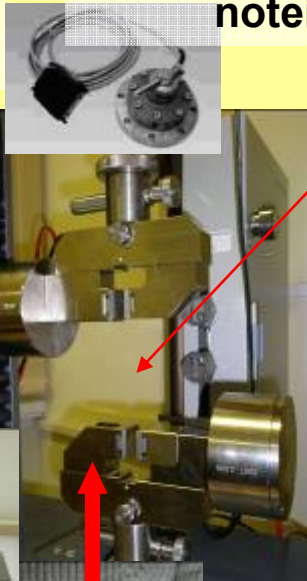
## Nanokompozītu iegūšanai

- 1 Iekārta liešanai zem  
spiediena ar apsildāmu  
formu

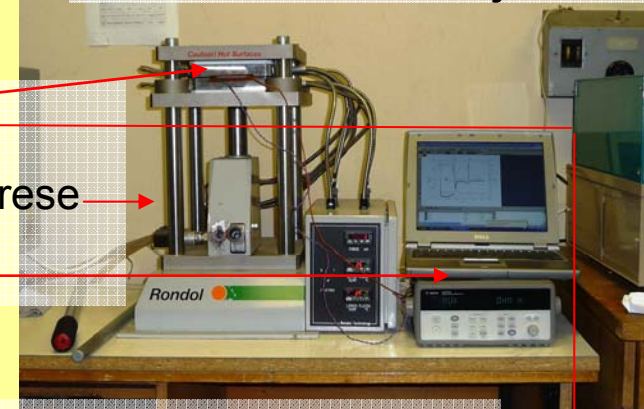


## Nanokompozītu pētījumiem

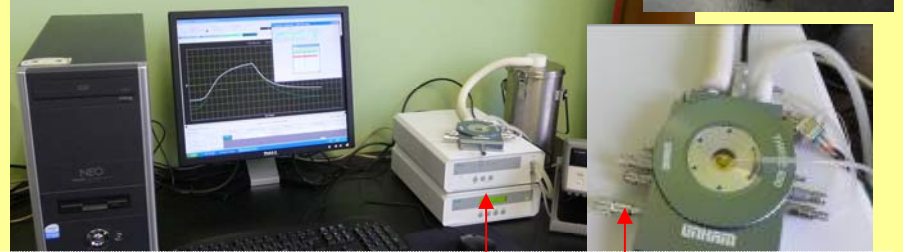
- 2 Aprīkojums stiprības-  
deformācijas īpašību  
noteikšanai



- 3 Komplekss elektriskās  
pretestības  
mērīšanai vulkanizācijas laikā



- 4 Komplekss elektriskās pretestības  
mērīšanai atkarībā no temperatūras



Termošūna,  
Mēriekārta elektriskās pretestības mērīšanai

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegādātās/paškonstruētās iekārtas

- 5 Komplekss elektrovadošu polimēra kompozītu paraugu vienlaicīgai elektriskās pretestības, masas un izmēru mērīšanai ķīmisko tvaiku iedarbības laikā



Paraugam veic lineāro  
izmēru mērījumus ar  
speciālu videokameru

Paraugam veic elektriskās  
pretestības mērījumus ar  
Agilent 34970A, kas  
savienots ar datoru



Svari savienoti ar datoru



**Nanokompozītu  
iegūšanas tehnoloģijas  
izstrāde**



**Nanokompozītu  
pārstrādes  
tehnoloģijas  
izstrāde**

**Struktūrīpašības,  
stiprības-  
deformācijas  
īpašības,  
sorbīvās īpašības,  
elektriskās īpašības  
u.c. īpašības**

**PĒTĪJUMU  
STRUKTŪRA**



**Nanokompozītu  
dizains un  
modelēšana**




**Īpašību  
prognozēšana  
un modelēšana**

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: publikācijas

1	M. Knite, K. Ozols, <b>J. Zavickis</b> , V. Tupureina, I. Klemenoks, R. Orlovs, Elastomer – Carbon Nanotube Composites as Prospective Multifunctional Sensing Materials, <i>Journal of Nanoscience and Nanotechnology</i> , 2008, V8, 1-6.
2	M. Knite, <b>S. Zike</b> , R.Orlovs, <b>J. Zavickis</b> , V. Teteris, Electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites in the temperature range 90 – 335 K, <i>Solid State Sciences</i> , 2008, submitted.
3	M.Knite, <b>G.Podins</b> , <b>S.Zike</b> , <b>J.Zavickis</b> , V.Tupureina, PROSPECTIVE ROBOTIC TACTILE SENSORS: Elastomer –carbon nanostructure composites as prospective materials for flexible robotic tactile sensors, <i>Proc. of 5<sup>th</sup> International Conference on informatics in Control, Automation and Robotics</i> , – Vol. 1., May 11-15, 2008, Funchal, Madeira – Portugal, 234-238
4	<b>J.Zavickis</b> , M.Knite, V.Teteris, <b>S. Zike</b> , V.Tupureina, Polyisoprene-nanostructured carbon black composite for pressure sensors – processing and mechano-electrical properties, <i>Proc. of international scientific conference “Material science and manufacturing technology” MITECH 2008</i> , Prague, Czech Republic, June 26-27, 2008, p. 235-240
5	<b>Лиличенко Н.</b> , Максимов Р. Д., Зицанс Я., <b>Мерий Меру Р.</b> , Плуме Э. Биодegradуемый полимерный нанокомпозит: механические и барьерные свойства // Механика композит. материалов. – 2008. – Т. 44, № 1. – С. 61–76.
6	Максимов Р. Д., <b>Гайдуков С.</b> , Зицанс Я., Янсонс Ю. Влагопроницаемость полимерного нанокомпозита, содержащего немодифицированную глину // Механика композит. материалов. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 723–736.
7	Плуме Э., Максимов Р. Д., Лагздинь А. Влияние анизотрии пластинчатых наночастиц наполнителя на константы упругости трансверсально-изотропного композита // Механика композит. материалов. – 2008. – Т. 44, № 4. – С. 493–504.
8	Максимов Р. Д., <b>Лиличенко Н.</b> , Зицанс Я., <b>Мерий Меру Р.</b> Свойства биоразлагаемого нанокомпозита на основе крахмала и немодифицированной глины // Пластические массы (принята к печати).
9	<b>Элксните И.</b> , <b>Лиличенко Н.</b> , Максимов Р. Д., Зицанс Я., Дзене А., Роя Ж. Механические и барьерные свойства биодegradуемого полимерного нанокомпозита на основе крахмала и монтмориллонита // Материалы 28-й междунар. конф. <i>Композиционные материалы в промышленности</i> . – Ялта, Крым. 26–28 мая 2008 г. – С. 453–455.


Копējais publikāciju skaits	50
Копējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	38
Интеллектуālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	1

 Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: publikācijas

10	Анискевич, А. Н., Калнрозе З. В., 'Методика измерения двухосных деформаций при растяжении тонких пленок', <i>Материалы, технологии инструменты</i> , Т. 13, № 1, 2008, с. 105-110.
11	<b>O. Starkova</b> , Zhong Zhang, Hui Zhang. Effect of temperature, moisture and strain rate on limits of linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO2 nanoparticles. Proceedings of ECCM-13, CD, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden.
12	<b>Olesja Starkova</b> , Zhong Zhang, Hui Zhang, Hyung-Woo Park. Limits of the linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO2 nanoparticles: effect of strain rate, temperature, and moisture. Submitted to Journal of Materials Science and Engineering A, 2008.
13	<b>Kovalovs A.</b> Barkanov E. Gluhih S. 2008. Active twist performance for optimal design of helicopter rotor blade with D-spar. In: <i>Proceedings of the 4th international conference: Strength, Durability and Stability of Materials and Structures SDSMS'04</i> , 2008, 53-59.
14	<b>Kovalovs A.</b> , Barkanov E., Gluhih S. 2008. Active twist of composite rotor blade <i>Mechanic of Composite Materials</i> (ir sagatavots publicēšanai).
15	<b>Kovalovs, E.</b> Barkanov, S. Gluhih. 2008. Application of Macro-fiber composite (MFC) as piezoelectric actuator. <i>Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University. ISSN 1392-8716. Vilnius: Vibromechanika.</i> (tiks publicēts 2009 gadā janvārī).
16	S. Gluhih, <b>A. Kovalovs</b> , E. Barkanov and A. Chate. 2008. Elastic instabilities in polymer tube of resonant sound absorbers under hydrostatic pressure. <i>Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University. ISSN 1392-8716. Vilnius: Vibromechanika.</i> (tiks publicēts 2009 gadā janvārī).
17	S. Gluhih, <b>A. Kovalovs</b> , E. Barkanov and A. Chate. 2008. Elastic instabilities in elastomeric tube under hydrostatic pressure. <i>Mechanic of Composite Materials</i> (ir sagatavots publicēšanai).

Kopējais publikāciju skaits	50
Kopējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	38
Intelektuālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	1


 Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki



## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: konferenču tēzes

18	<b>I. Elksnīte, N. Lilichenko</b> , R. Maksimov, J. Zicans, M. Kalnins. Sorption properties of biodegradable plasticized starch based nanocomposites. 17 <sup>th</sup> International Baltic Conference "Materials Engineering 2008", November 5-6, Kaunas, Lithuania, p. 35.
19	<i>Ivanova T., Lilichenko N., Maksimov R., Zicans J.</i> Starch based biodegradable nanocomposites: structure and properties // European Materials Research Society. <i>E-MRS 2008. FALL MEETING</i> . Warsaw, Poland. Sept. 15-19, 2008. Scientific Programme and Book of Abstracts. P. 150.
20	<b>Gaidukov S.</b> , Maksimov R. D., Kalniņš M. M., Zicans J., and Plume E. Some strength and deformation characteristics of nanocomposites based on distinctive polymers and clays // <i>Conf. Mech. Compos. Mater. MCM-2008</i> . – Riga, May 26-30, 2008. Book of Abstracts. – P. 88.
21	<b>Lilichenko N.</b> , Maksimov R. D., Zicans J., Tupureina V., and Plume E. A biodegradable starch/clay nanocomposites: preparation, testing, and properties // <i>Conf. Mech. Compos. Mater. MCM-2008</i> . – Riga, May 26-30, 2008. – Book of Abstracts. – P. 168.
22	<b>Lilichenko N.</b> , Zicans J., Maksimov R., Kalnins M., Kalkis V. Plasticized starch/clay nanocomposites. Stress-strain properties and structure // <i>Baltic Polymer Symposium 2008</i> . – Otepaa, Estonia. May 13-16, 2008. – Programme and Abstracts. – P. 30.
23	<b>Гайдуков С.</b> , Максимов Р. Д., Цицанс Я., Калнинь М., Плу́ме Э. Наноккомпозиты на основе различных полимеров и слоистых силикатов: изготовление, испытания, свойства // Первая междунар. научн. конф. <i>Наноструктурные материалы – 2008. НАНО-2008</i> . – Минск, Беларусь, 22-25 апреля 2008 г. – CD-версия. II. No. 147.
24	<b>Lilichenko N.</b> , Zicans J., <b>Merijs Meri R.</b> , Maksimov R., Kalkis V. Structure and stress-strain properties of plasticized starch/clay nanocomposites // Intern. Baltic Sea Region Conf. <i>Functional materials and nanotechnologies – 2008</i> . – Riga, April 1-4, 2008. – Book of Abstracts. – P. 141.
25	<b>I. Elksnīte, J. Bitenieks</b> , V. Kalkis, J. Zicans. Manufacturing and investigation of MWCNT/polymer nanocomposites. Book of Abstracts of the <i>E-MRS 2008 Fall Meeting</i> , Warsaw, September 15-19, 2008, Warsaw: 2008, 366 p.,-153 p.
26	<b>Glaskova, T., Tuch</b> , A., Aniskevich, A., 'Modeling of volume-dependent properties of disperse filled composite material considering inhomogeneous interphase', <i>Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008</i> , May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 65.

Kopējais publikāciju skaits	50
Kopējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	38
Intelektuālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	1

 Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: konferenču tēzes

27	<b>S.Gaidukov, A.Cimmermane</b> , J.Zicans, V.Kalkis, M.Kalnins. Preparation and properties on irradiation modified polypropylene/montmorillonite nanocomposites. Book of Abstracts of the International Baltic Sea Region conference „Functional materials and nanotechnologies, 2008, Riga: 2008, 139 p. – p. 92.
28	<b>Starkova, O.</b> , Aniskevich, A., Kazina, E., ‘Tensile stress-strain behavior of filler-reinforced rubber under large deformation’, Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008, May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 74.
29	<b>Starkova, O.</b> , Aniskevich, A., ‘Characterization of moisture sorption by structurally anisotropic FRP rebars’, Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008, May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 73.
30	Aniskevich, A. N., Sapozhnikov, S. B., <b>Starkova, O. A.</b> , ‘Structure and mechanical behavior of a rubber filled with silica particles’, Book of Abstracts 15th International Conference Mechanics of Composite Materials, Riga, Latvia, May 26-30, 2008, p. 35.
31	Faitelson, E. A., <b>Glaskova, T. I.</b> , Aniskevich, A. N., Korkhov, V. P., ‘Thermomechanical properties of an epoxy/clay nanocomposite in relation to filler and moisture content’, Book of Abstracts 15th International Conference Mechanics of Composite Materials, Riga, Latvia, May 26-30, 2008, p. 84.
32	<b>Glaskova, T.</b> , Aniskevich, A., ‘Modeling of effective elastic properties of composite containing nanoparticles with an inhomogeneous interphase’, Proc. of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, paper 1454, 8 p.
33	<b>Glaskova, T.</b> , Aniskevich, A., ‘Modeling of effective elastic properties of composite containing nanoparticles with an inhomogeneous interphase’, Abstracts of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, abstract 1454.
34	Aniskevich, A., ‘Tensile creep of polyimide film in dry and wet environment’, Abstracts of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, abstract 718.


Kopējais publikāciju skaits	<b>50</b>
Kopējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	<b>38</b>
Intelektuālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	<b>1</b>

Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: konferenču tēzes

35	Aniskevich, A., 'Long- and short-term deformability of polyimide thin films in humid atmosphere', Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 73-74.
36	<b>Starkova, O.</b> , Aniskevich, A., 'Lateral contraction of filled rubber in large deformation uniaxial tests', Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 121-122.
37	<b>Glaskova, T.</b> , Aniskevich, A., Guedes, R. M., Morais, J. J., 'Application of moisture absorption theories for epoxy resin system', Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 119-120.
38	Morais, J. J., Guedes, R. M., Custodio, P. M., Aniskevich, A., 'The effect of moisture and physical ageing on the tensile strength of a structural epoxy', Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 71-72.
39	Aniskevich K., Hristova J. Effect of long-term exposure to water on the relaxation properties of an epoxy based composite// Book of Abstracts of Conference "Mechanics of Composite Materials". - Riga, 2008. - p.34.
40	<b>Starkova Olesja</b> , Zhang Zhong, Zhang Hui, „Effect of temperature, moisture and strain rate on limits of linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO2 nanoparticles". ECCM13, Stockholm, Sweden, June 2-5, 2008.
41	<b>Kovalovs A.</b> , Barkanov E., Gluhihs S. 2008. Modal analysis of composite plate. International Baltic Sea Region Conference „Functional materials and nanotechnologies”, FM&NT-2008, Riga, Latvia, April 1-4, 2008.
42	<b>Kovalovs A.</b> , Barkanov E., Gluhih S. 2008. Active twist of composite rotor blade. XV International Conference on Mechanic of Composite Materials, MCM-2008, Riga, Latvia, May 26 – 30, 2008.


Kopējais publikāciju skaits	50
Kopējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	38
Intelektuālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	1

 Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki

## 6. projekta 5. posma ietvaros iegūtie zinātniskie rezultāti: konferenču tēzes

43	Gluhiih S., Barkanov E., Chate A. 2008. Buckling behaviour of a polymer tube under hydrostatic pressure. XV International Conference on Mechanic of Composite Materials, MCM-2008, Riga, Latvia, May 26 – 30, 2008
44	<b>Kovalovs</b> , E. Barkanov, S. Gluhiih. 2008. Application of Macro-fiber composite (MFC) as piezoelectric actuator. 7 <sup>th</sup> International Conference VIBROENGINEERING 2008, Kaunas, Lithuania, October 9 – 11, 2008.
45	S. Gluhiih, <b>A. Kovalovs</b> , E. Barkanov and A. Chate. 2008. Elastic instabilities in polymer tube of resonant sound absorbers under hydrostatic pressure. 7th International Conference VIBROENGINEERING 2008, Kaunas, Lithuania, October 9– 11, 2008.
46	M.Knite, <b>S.Zike</b> , R.Orlovs, V.Teteris, Low temperature electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites, Abstracts of 2 <sup>nd</sup> international meeting on developments in Materials, processes & applications of nanotechnology, Cambridge, United Kingdom, 6-8 January 2008, p. 204
47	<b>J.Zavickis</b> , M.Knite, V.Teteris, In-situ investigation of electrical properties of polyisoprene-nanostructured carbon black composite during vulcanization, International Baltic Sea conference Functional materials and nanotechnologies (FM&NT-2008), April 1-4, 2008, Riga, Latvia, p.106
48	<b>S.Zike</b> , R.Orlovs, M.Knite, <b>J.Zavickis</b> , V.Teteris, Temperature dependent electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites, International Baltic Sea conference Functional materials and nanotechnologies (FM&NT-2008), April 1-4, 2008, Riga, Latvia, p.145
49	M. Knite, <b>S. Zike</b> , R.Orlovs, <b>J. Zavickis</b> , V. Teteris. Electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites in the temperature range 90 – 335 K, <i>Abstracts of the Conference of European Materials Research Society</i> , (EMRS 2008 Spring Meeting), May 26-30, 2008, Strasbourg, France, A13-11
50	<b>S.Zike</b> , V.Teteris, J.Barloti, R.Orlovs, M.Knite. Mechanisms of electrical conductivity on polyisoprene/nanostructured carbon composites, 3 <sup>rd</sup> International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (NanoSMat 2008), 21-24 October, 2008, Barcelona, Spain, p250-251

Kopējais publikāciju skaits	<b>50</b>
Kopējais <b>starptautiskās konferencēs</b> prezentēto referātu un attiecīgi publicēto tēžu skaits	<b>38</b>
Intelektuālie īpašumtiesību dokumenti ( <b>patenti</b> )	<b>1</b>

 Doktoranti, studenti, jaunie zinātnieki

## 6. projekta 5. posma ietvaros izstrādāta doktora disertācija

Doktorants	Darba vadītāji	Tēmas nosaukums
S. Gaidukovs	Dr.sc. ing. Jānis Zicāns, Dr.habil.sc.ing. Mārtiņš Kalniņš	„Montmorillonīta nanolīmeņa plākšņuveida daļiņas saturoši polimērkompozīti”

kā arī saņemts pozitīvs lēmums par Latvijas Republikas patenta pieteikumu

Autori	Nosaukums	Patenta pieteikuma numurs
J. Barloti, V. Teteris, M. Knite	“Silīcija dioksīda kārtiņu caurejošo poru un kompozītu elektrovadošu kanālu atklāšanas un reģistrācijas paņēmieni”	P-07-139

## 6. projekta 5. posma ietvaros saņemtie apbalvojumi



Doktorandam **Jurim Zavickim** LZA un SIA „RD Elektroniks” **balva studentiem fizikā un tās inženierpielietojumos** par tēmu „Poliizoprēna – nanostrukturēta oglekļa kompozītu kā mehanoelektrisko sensoru materiālu izstrāde un izpēte” (darba vadītājs profesors **Māris Knite**)

Doktorandei **Gitai Šakalei** **Werner von Siemens Izcilības balva** par tēmu „Poliizoprēna – nanostrukturēta oglekļa kompozīta kā ķīmiskā sensora materiāla izstrāde un īpašību izpēte” (darba vadītājs profesors **Māris Knite**)



Doktorandei **Ilzei Elksnītei** **Starptautiskās konferences „Engineering Materials 2008” labākā referāta balva** par tēmu „Sorption properties of biodegradable plasticized starch based nanocomposites” (darba vadītājs vad. pētn. **Jānis Zicāns**)

## 6. projekta 4. posmā aizsākto pētījumu turpinājums

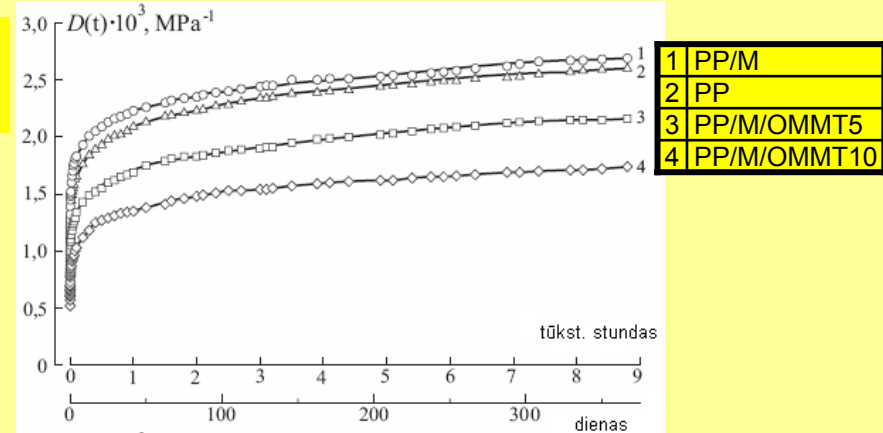
### Turpināti pētījumi par

- polipropilēna (PP)/ organiski modificētu montmorillonīta mālu (OMMT) nanokompozītu ilgtermiņa šļūdes likumsakarībām;
- PP/OMMT nanokompozītu izturību jonizējošās un ķīmiski agresīvās vidēs;
- stirola-akrila kopolimēra (SAK)/ slāņaino silikātu montmorillonīta mālu (SSM) nanokompozītu mitruma sorbciju prognozējošu struktūratkarīgu matemātisko modeļu izstrādi;
- starpfāžu slāņa ietekmi uz polimēra nanokompozīta makroīpašībām, aprobējot izstrādāto matemātisko modeli epoksīda matricas OMMT nanokompozītam;
- polimēru nanokompozītu elastisko īpašību vispārināta prognozēšanas matemātiskā modeļa izstrādi
- poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanokompozītu (PSSONK) elektrisko īpašību kompleksiem pētījumiem
- polimēru nanokompozītu sarežģītu konstrukciju modelēšanu, pielietojot makrošķiedru kompozītu (MFC)

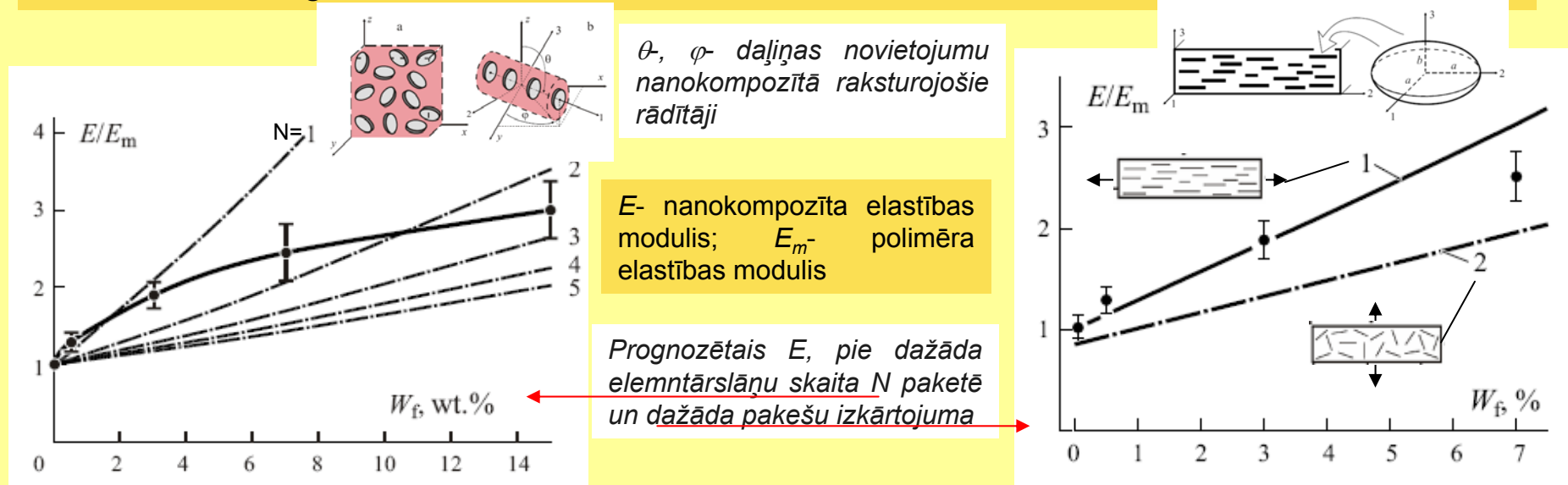
# 6. projekta 4. posmā aizsākto pētījumu turpinājums

Turpinot pētījumus par PP/OMMT nanokompozītu izpēti secināts, ka

1. to ilgtermiņa šļūdes īpašības, līdzīgi kā tas tika iepriekš prognozēts ar īstermiņa šļūdes eksperimentiem, pieaug, palielinot nanopildvielas koncentrāciju;



2. nanokopolzītu elastiskās īpašības ir pietiekoši labi prognozējamas, izmantojot orientācijas vienādošanas metodi, kā arī *Eshelby* pieeju, kuras abas ņem vērā slāņaino silikātu sarežģīto hierarhisko struktūru;

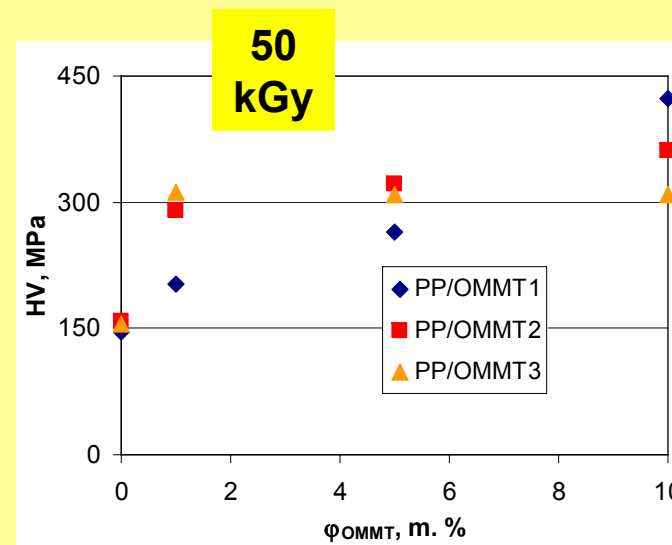
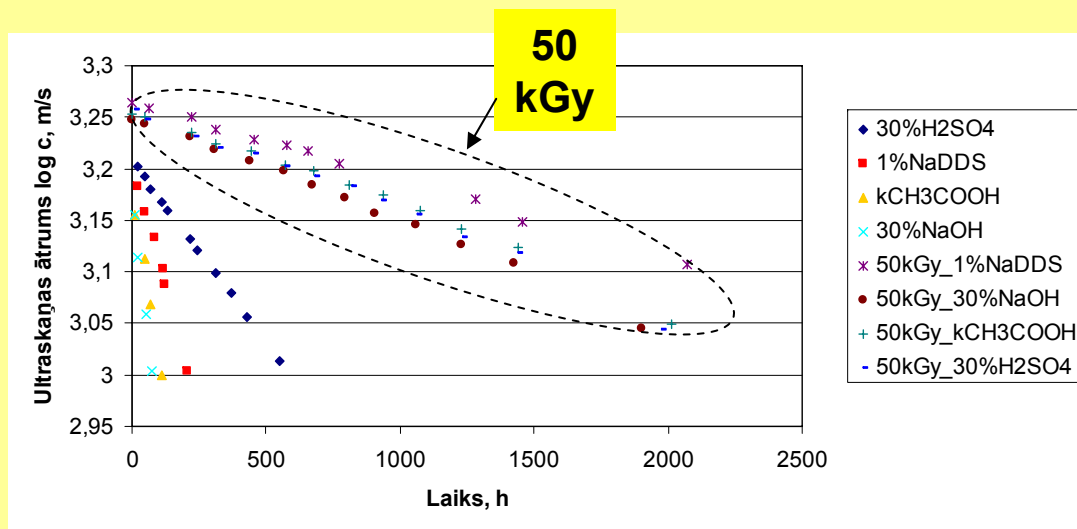
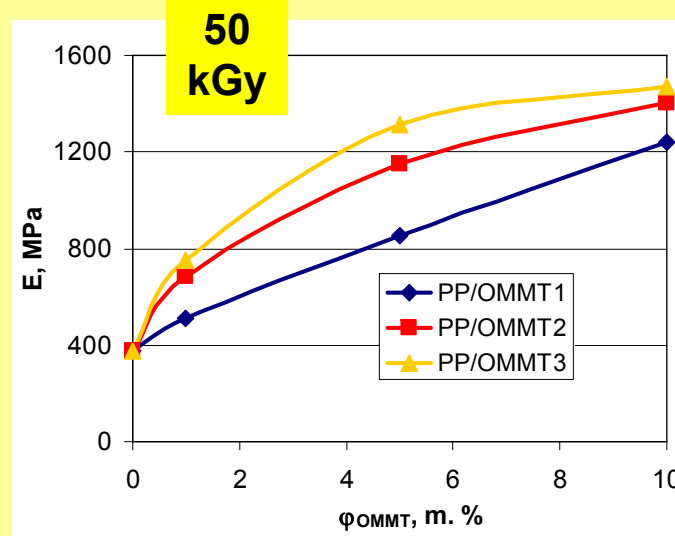




# 6. projekta 4. posmā aizsākto pētījumu turpinājums

Vienlaicīgi secināts, ka

3. izmantotās mālu nanopildvielas nodrošina arī ar jonizējošu starojumu apstarotu PP/OMMT nanokompozītu armēšanu : uzlabojas elastības modulis un mikrociētība.
4. pētāmās sistēmas piemērotas izmantošanai ilgstošā kontaktā ar noteiktas koncentrācijas nātrija dodecilsulfāta šķīdumiem

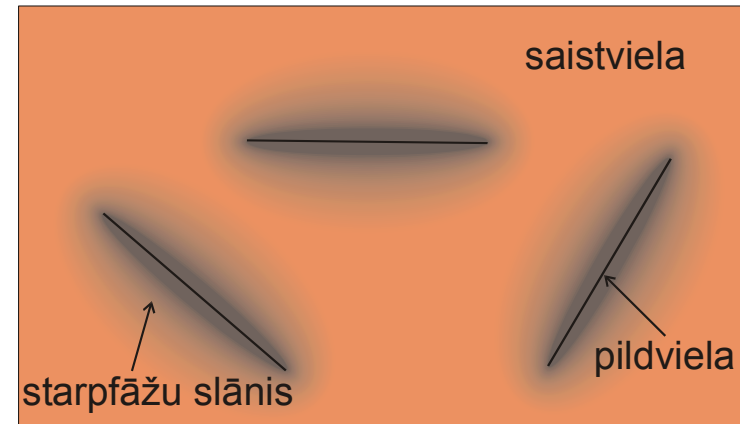


# 6. projekta 4. posmā aizsākto pētījumu turpinājums

## Māla/epoksīda nanokompozīts

- modificēts iepriekšējā etapā izstrādātais analītiskais modelis

$$P(x, k, R_f) = \begin{cases} P_f & \text{ja } 0 \leq x \leq R_f \\ P_m \cdot \left( 1 \pm \frac{|P_f - P_m|}{\max(P_f, P_m)} \cdot \exp\left(\frac{-(x - R_f)}{k \cdot R_f}\right) \right) & \text{ja } R_f \leq x \leq R_i(k). \\ P_m & \end{cases}$$



Kompozīta sistēmas īpašības vidējā vērtība

Starpfāžu slāņa ieguldījumu var novērtēt pēc formulas

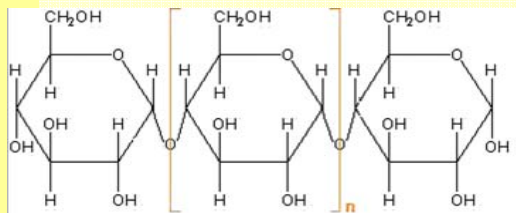
$$\bar{P}(k, R_f) = \int_0^{x_{\max}} P(x, k, R_f) dx$$
$$\eta = \frac{\bar{P}_0 - \bar{P}}{\bar{P}_0}$$

pierādīts, ka **pie 20 % SiO<sub>2</sub> satura, robežslānī koncentrējas 20 % no sistēmas kopējā mitruma.** Vienlaicīgi pie šādas pildījuma pakāpes epoksīda/mālu nanokompozīta eksperimentālo blīvuma vērtību novirzes no aditīvajām ir **8 %.**

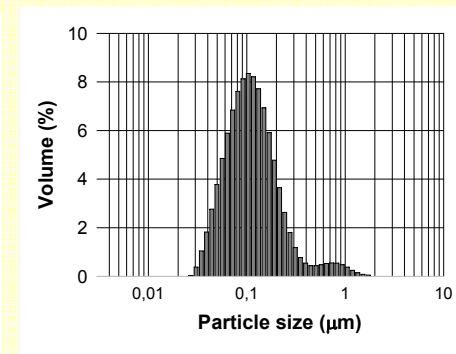
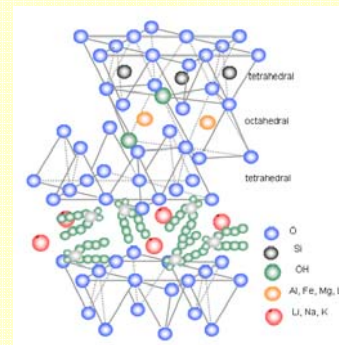
# Biodegradablas matricas/SSM nanokompozītu pētījumi

levērojot tautsaimniecisko aktualitāti uzsākti jauni pētījumi par

- uz biodegradalu polimēru bāzes veidotiem slāņaino silikātu nanokompozītiem, par izejvielām pēc iespējas izvēloties Latvijā pieejamos dabas resursus –



- Alojas kartupeļu cieti



- slāņaino silikātu minerālus

- tādējādi radot sintētiskajiem polimēriem alternatīvus biodegradablus iepakojuma materiālu,
- **šobrīd sintētisko polimēru materiālu pielietojums iepakojuma industrijā ir apmēram 37 % no visa polimēru materiālu patēriņa**
- vienlaicīgi nodrošinot ES atkritumu apsaimniekošanas prioritāšu īstenošanu Latvijā atbilstoši ES direktīvai 2004/12/EK „Par iepakojumu un iepakojuma atkritumiem”

# Nanokompozītu izgatavošanas tehnoloģija kausējumā

Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

Izejas komponentu žāvēšana

Mehāniska samaisīšana un  
uzbriedināšana 24 h

Samaisīšana kausējumā: 130°C; 5 min

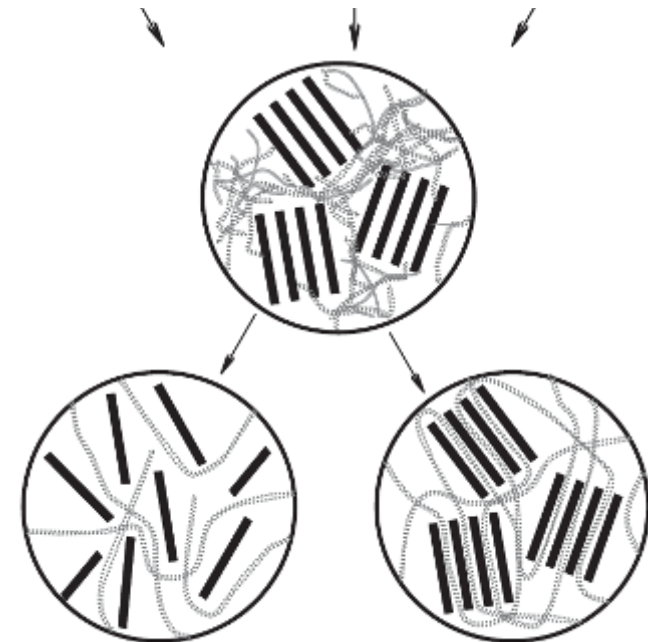
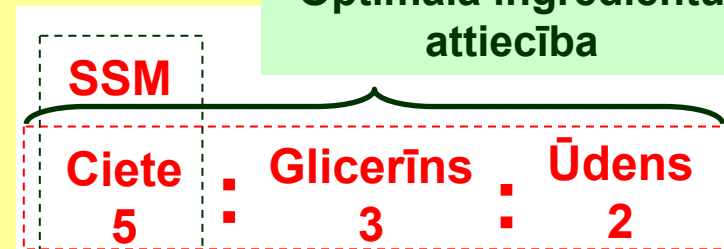


Apsildāmi valči ar regulējamu frikciju

MC/SSM kompozīts

Izstrādājumu formēšana: cikla laiks - 5 min,  
temperatūra - 140 °C, spiediens – 50 kgf/cm<sup>2</sup>

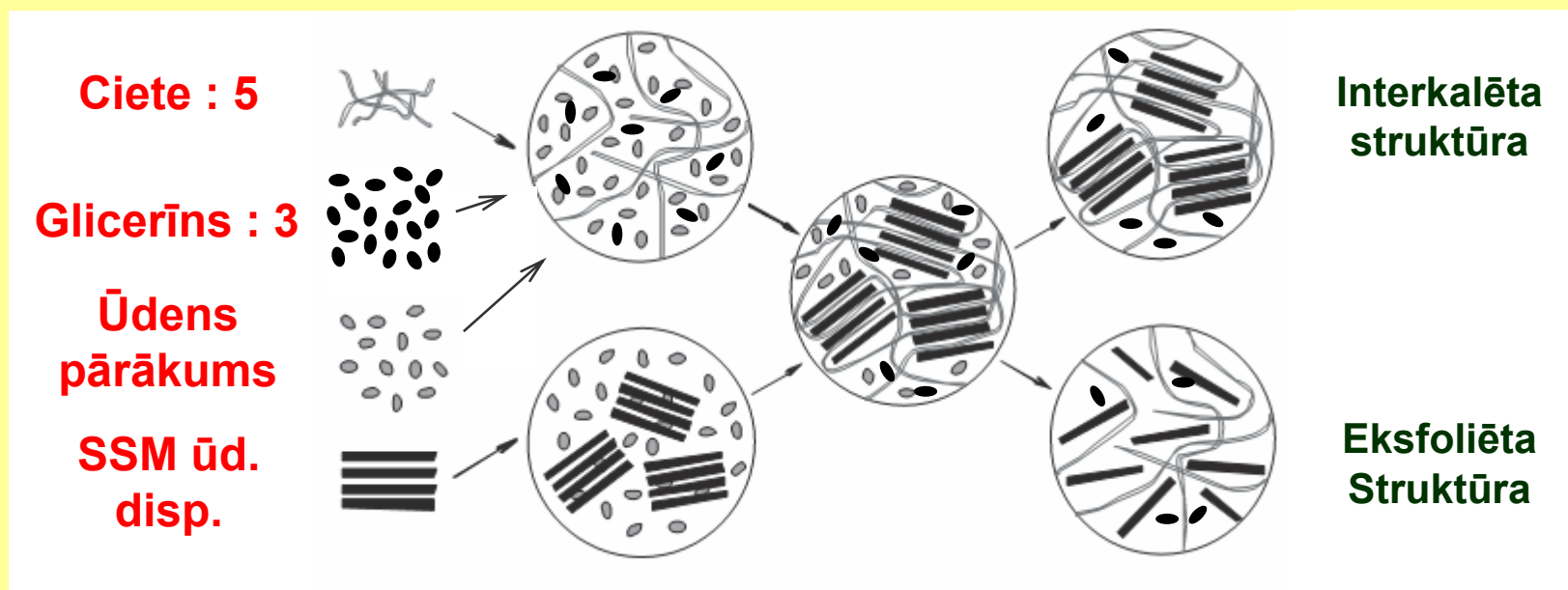
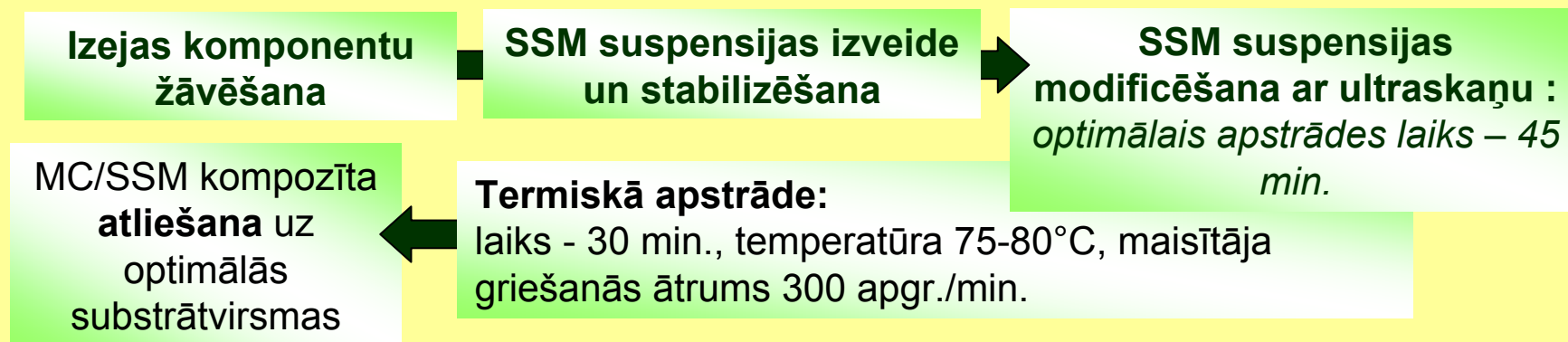
Optimālā ingredientu  
attiecība



Eksfoliēta / interkalēta  
struktūra

# Nanokompozītu izgatavošanas tehnoloģija šķīdinātājā

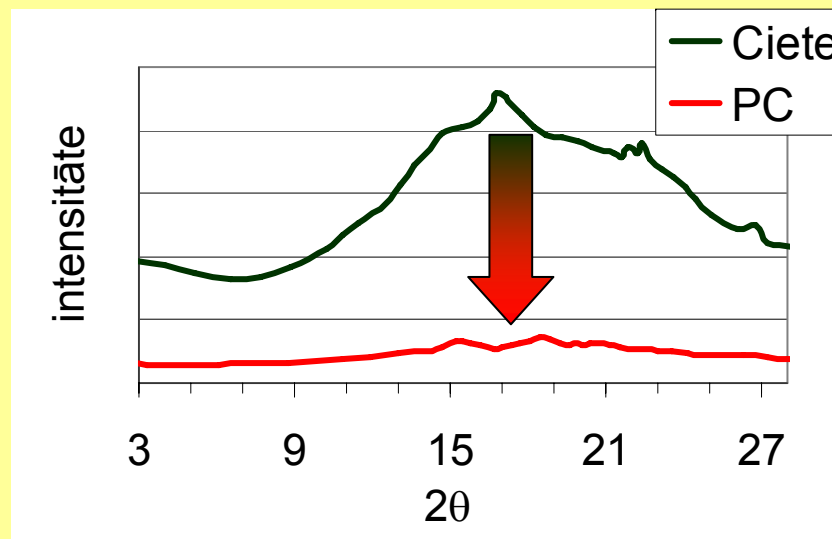
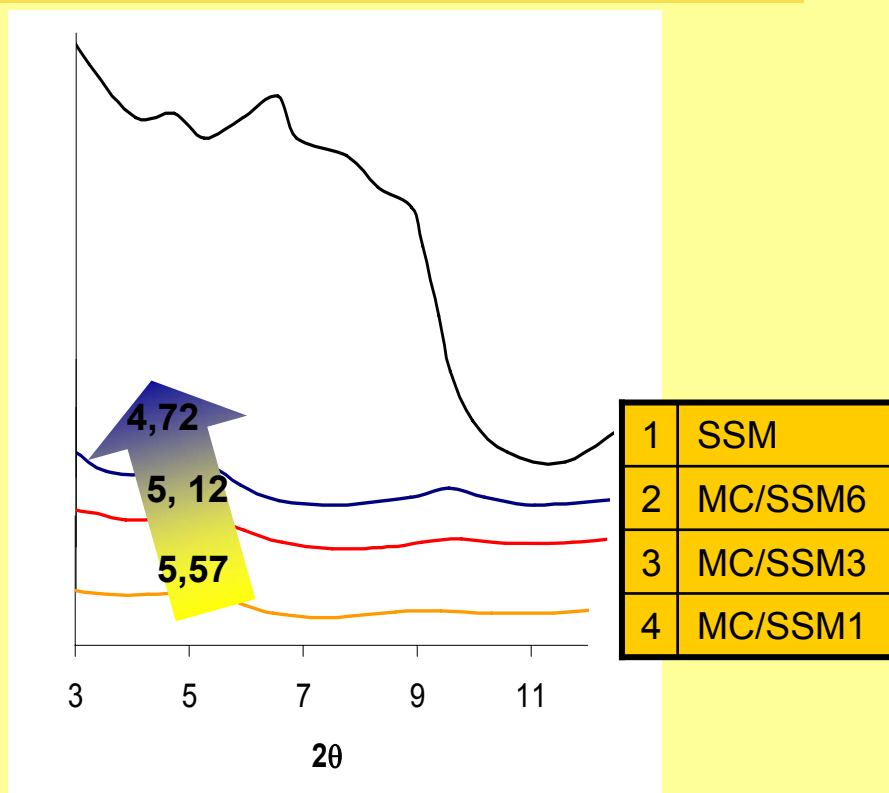
## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)



# Nanokompozītu struktūra

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

- *B-tipa* kristāliskums pēc glicerīna pievienošanas izzūd, kas norāda uz cietes kristāliskās struktūras sagraušanu plastifikācijas rezultātā.

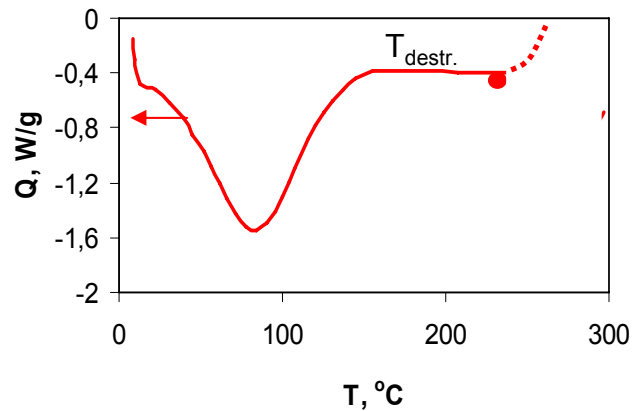


- Savukārt MC/SSM nanokompozītu difraktogrammā novērotā pīķa nobīde mazāku  $2\theta$  leņķu virzienā, liecina par starpslāņu attāluma palielināšanos, pateicoties polimēra makromolekulu interkalācijai montmorillonīta starpgaleriju telpā.

# Nanokompozītu struktūra

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

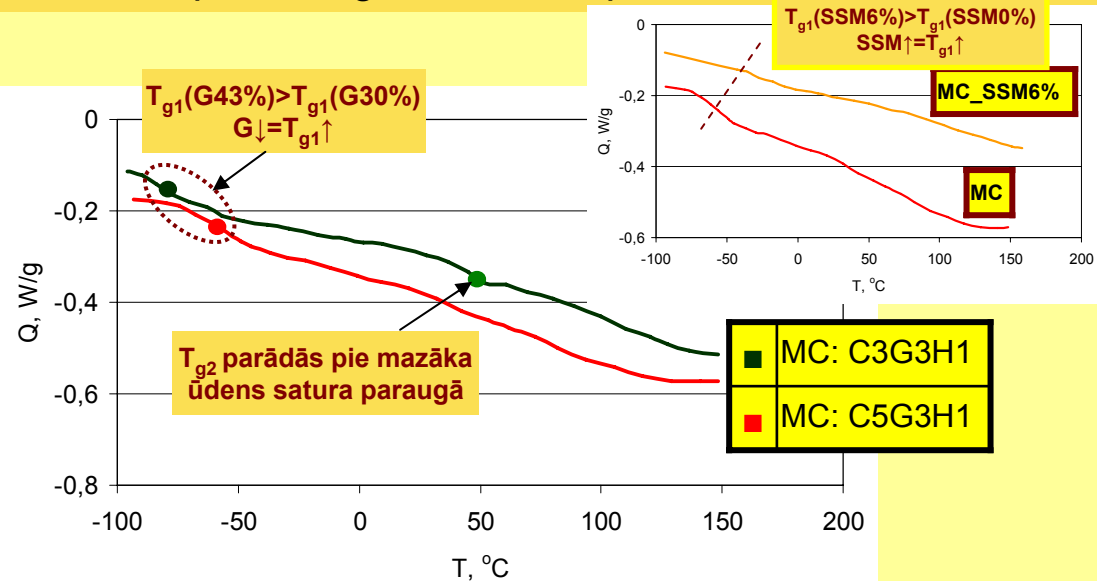
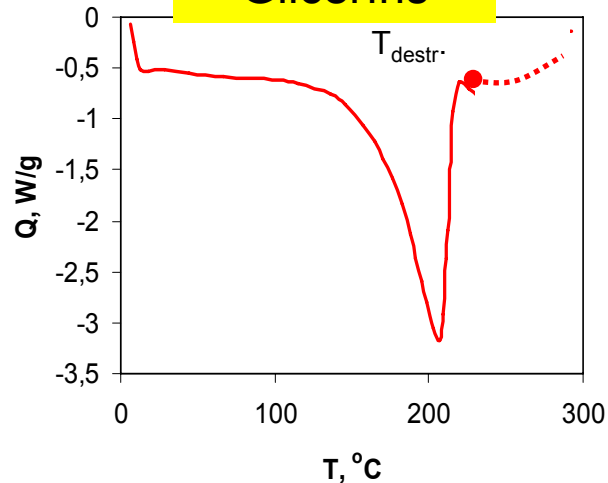
### Ciete



- No pārstrādes viedokļa konstatēts, ka maksimālā temperatūra, kas neizraisa ne cietes, ne glicerīna nopietnu destrukciju un kas vienlaicīgi būtu uzskatāma par jaunizstrādāto nanokompozītu ieteicamo pārstrādes temperatūru ir 150°C.

- Vienlaicīgi konstatēts, ka MC un pētāmo MC/SSM nanokompozītu stiklošanās temperatūra noteiktā veidā ir atkarīga, gan no glicerīna-cietes proporcionālajām attiecībām, gan no termiskās priekšvēstures, kas iegūta nanokompozītu izgatavošanas procesā.

### Glicerīns

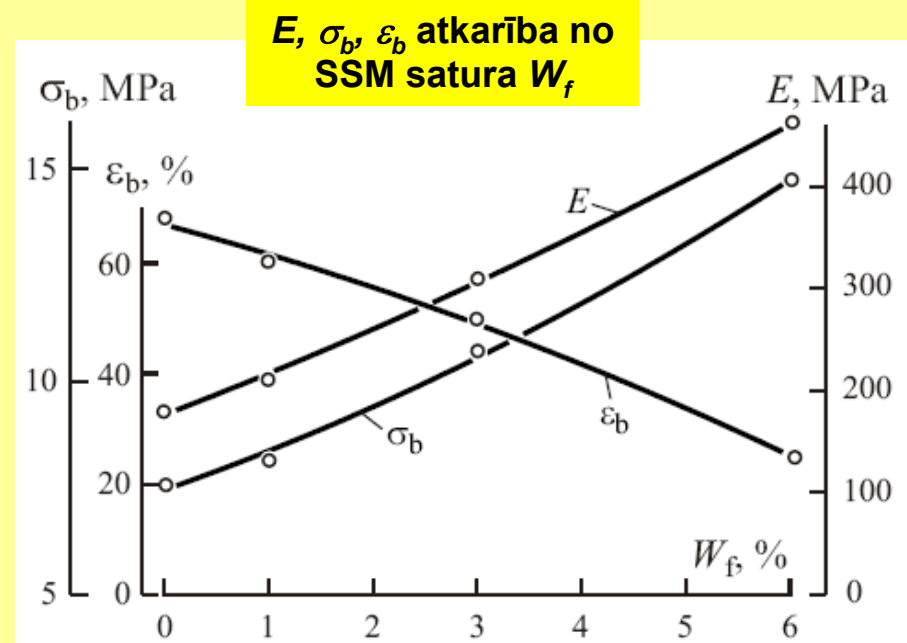
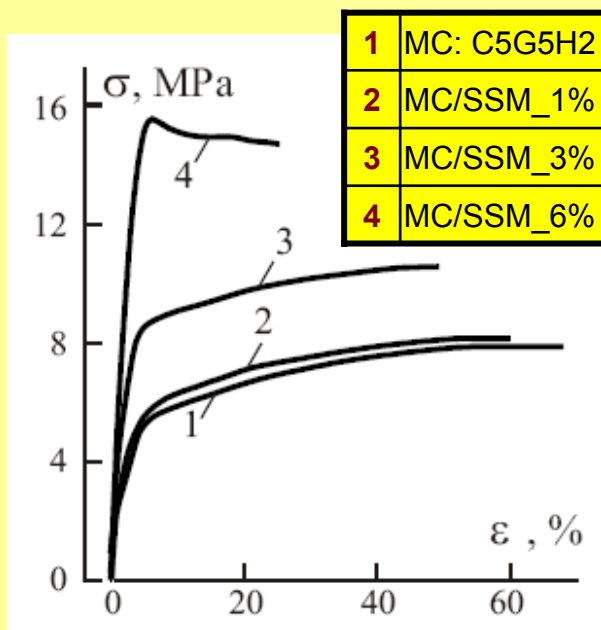


# Nanokompozītu stiprības- deformācijas īpašības

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

MC/SSM nanokompozītu **mehāniskās īpašības būtiski uzlabojas, jau pie neliela SSM satura**: pie 6 masas % nanopildvielas, stiprība un elastības modulis atbilstoši palielinās 1,9 un 2,6 reizes, salīdzinot ar izejas matricas polimēru.

Tajā pašā laikā nanokompozīta **deformējamiem materiāliem raksturīgais sagraušanas veids būtiski nemainās**.





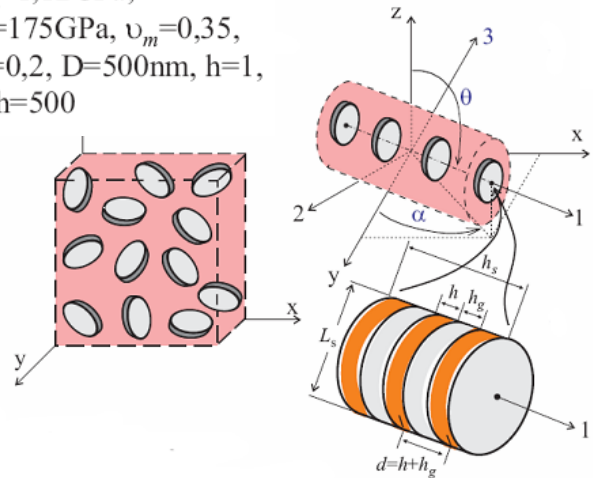
# Nanokompozītu elastības konstanšu prognozēšana

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

Izmantojot izstrādāto algoritmu, konstatēts, ka

- MC/SSM nanokompozīta **elastiskās īpašības būtiski ietekmē slāņaino silikātu eksfoliācijas pakāpe**
- izveidotā materiāla **aprēķina modelī jāņem vērā neeksfoliēto MMT daļiņu klātbūtne.**

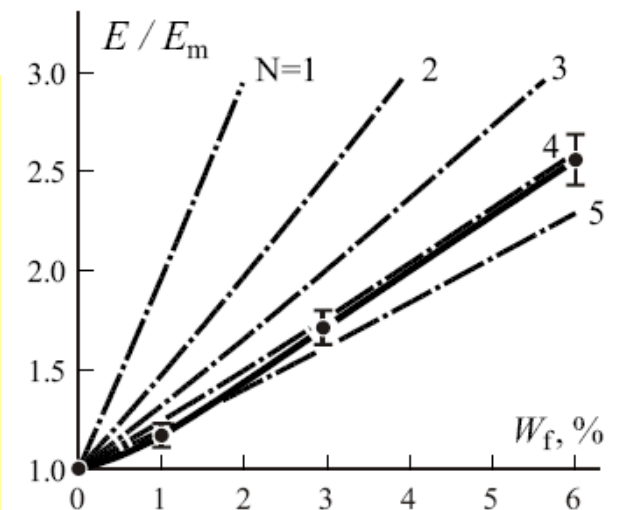
$E_m=1,12\text{GPa};$   
 $E_f=175\text{GPa}, \nu_m=0,35,$   
 $\nu_f=0,2, D=500\text{nm}, h=1,$   
 $D/h=500$



$$C_{\alpha\beta\gamma\delta} = \int_0^\pi \int_0^\pi C_{ijkl}^* l_{i\alpha} l_{j\beta} l_{k\gamma} l_{l\delta} f(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi$$

$L_s$ - elementārā pakojuma maksimālais izmērs;  $h_s$ - pakojuma biezums;  $h$ - monoslāņa biezums;  $h_g$ - galerijas biezums;  $d$ - attālums starp monoslāņiem;

$\theta, \varphi$ - daļiņas novietojumu nanokompozītā raksturojošie rādītāji

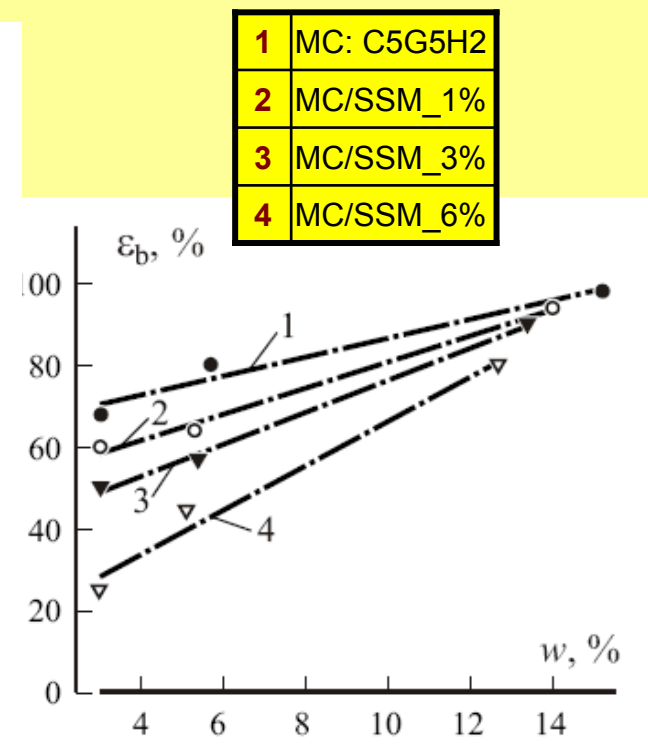
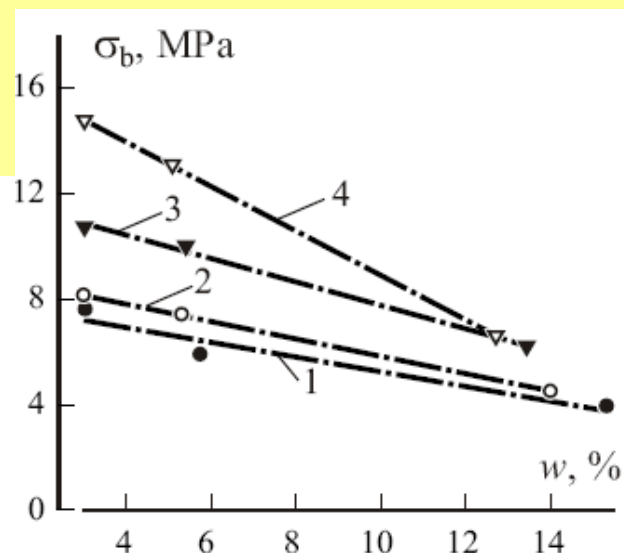
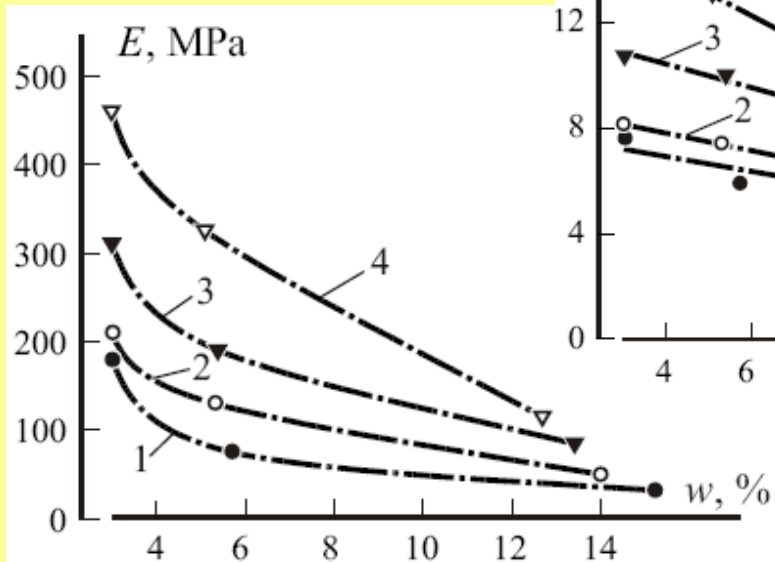


# Nanokompozītu īpašību atkarība no relatīvā mitruma

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

- Eksperimentāli tika noteiktas nanokompozītu īpašības pie parauga relatīvā mitruma vērtībām robežās no 3-16 %.
- Šajā diapazonā palielinot nanokompozītu mitruma saturu paraugā, MC/SSM stiprība un elastības modulis samazinās, bet relatīvais sagraušanas pagarinājums pieaug.

$E$ ,  $\sigma_b$ ,  $\varepsilon_b$  atkarība no mitruma satura  $w$  paraugā



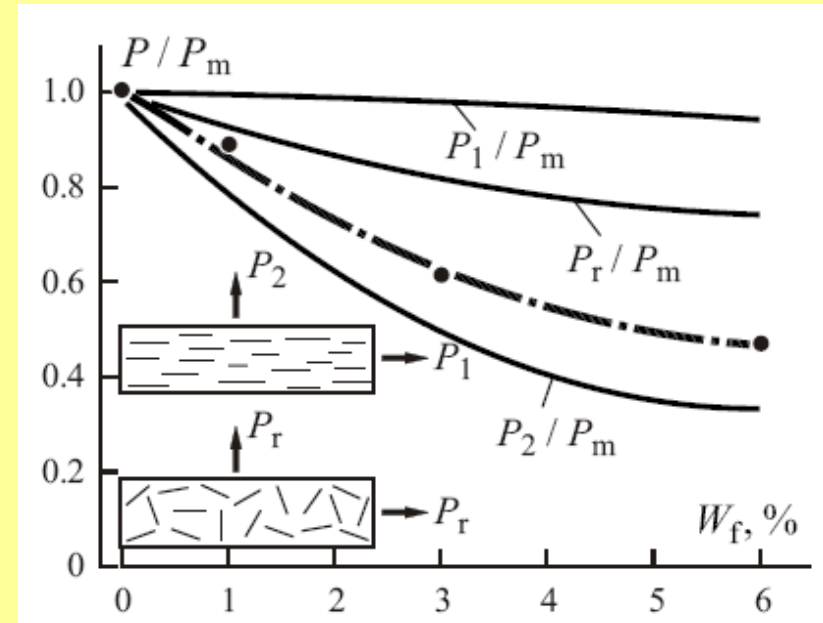
# Nanokompozītu sorbtīvās īpašības

## Biodegradablas matricas nanokompozīti (MC/SSM)

- MC/SSM nanokompozīta **barjeras īpašības ievērojami uzlabojas**, salīdzinot ar izejas MC.

Mitruma caurlaidības koeficients MC/SSM kompozītam ar 6% SSM saturu samazinās 2,1 reizes

- Mitruma caurlaidības eksperimentālo rezultātu korelēšana ar teorētiski aprēķinātajiem ļāva secināt, ka **MC matricā esošās slāņainās nanopildvielas** sakārtojums ir gan komplanārs, gan haotisks.



Ūdens tvaiku relatīvā caurlaidība atkarībā no SSM satura nanokompozītā: punkti –eksperimentālie dati; līnijas – aprēķina dati

$$P_1/P_m = 1 - V_s \quad \frac{P_2}{P_m} = \frac{1 - V_s}{1 + \frac{1}{2}(L_s/h_s)V_s}$$

$$P_r = 1/3(2P_1 + P_2)$$

$P_1$ - caurlaidība paralēli daļiņu orientācijas virzienam;  $P_2$ - caurlaidība perpendikulāri daļiņu orientācijas virzienam;  $P_r$ - caurlaidība haotiski orientētā kompozītā;  $P_m$ - matricas polimēra caurlaidība,  $V_s$ - pildvielas tilpumsaturs;  $L_s/h_s$ - slāņaino silikāta pakešu formas faktors;

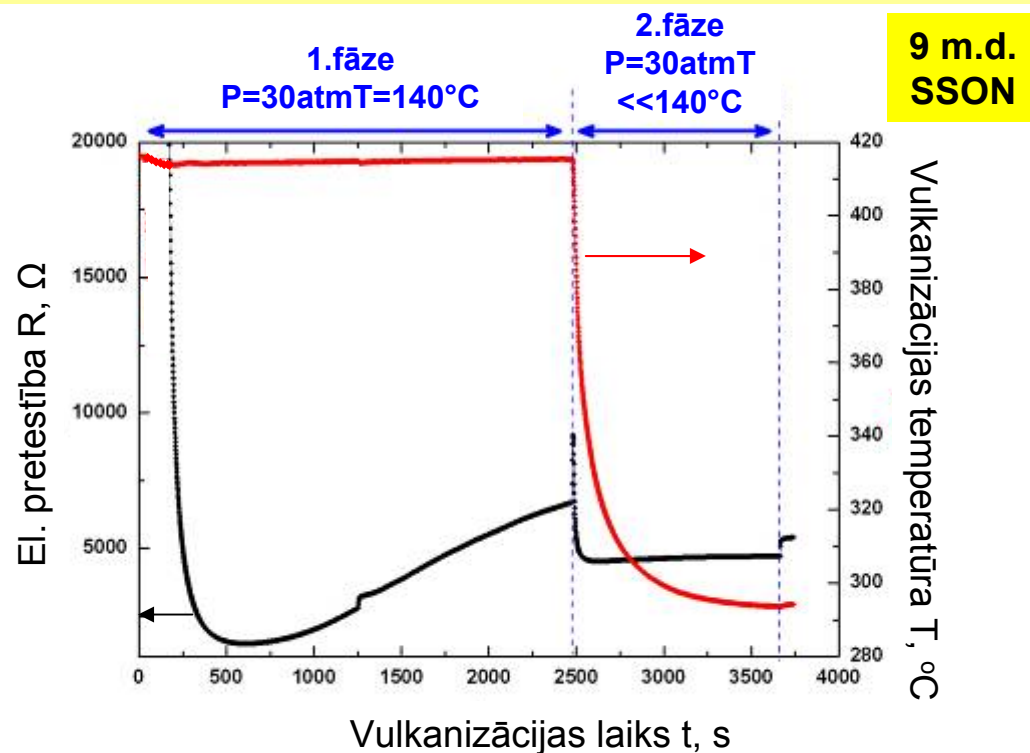
# Nanokompozītu elektrisko īpašību kompleksi pētījumi

Poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozīti (PSSONK)



Pētot nanostrukturētā oglekļa perkolatīvās elektrovadošās struktūras veidošanās kinētiku tieši vulkanizācijas laikā, konstatēts, ka

- optimālā vulkanizācijas temperatūra -  $140^{\circ}\text{C}$ ; spiediens – 30 atm, vulkanizācijas laiks – 30 min., dzesēšanas cikla laiks – 30 min.
- elektriskā vadāmība PSSONK iestājas tieši vulkanizācijas procesa pirmajās minūtēs, un elektriskās pretestības samazināšanos apraksta eksponenciāli dilstoša funkcija no laika.



# Nanokompozītu elektrisko īpašību kompleksī pētījumi

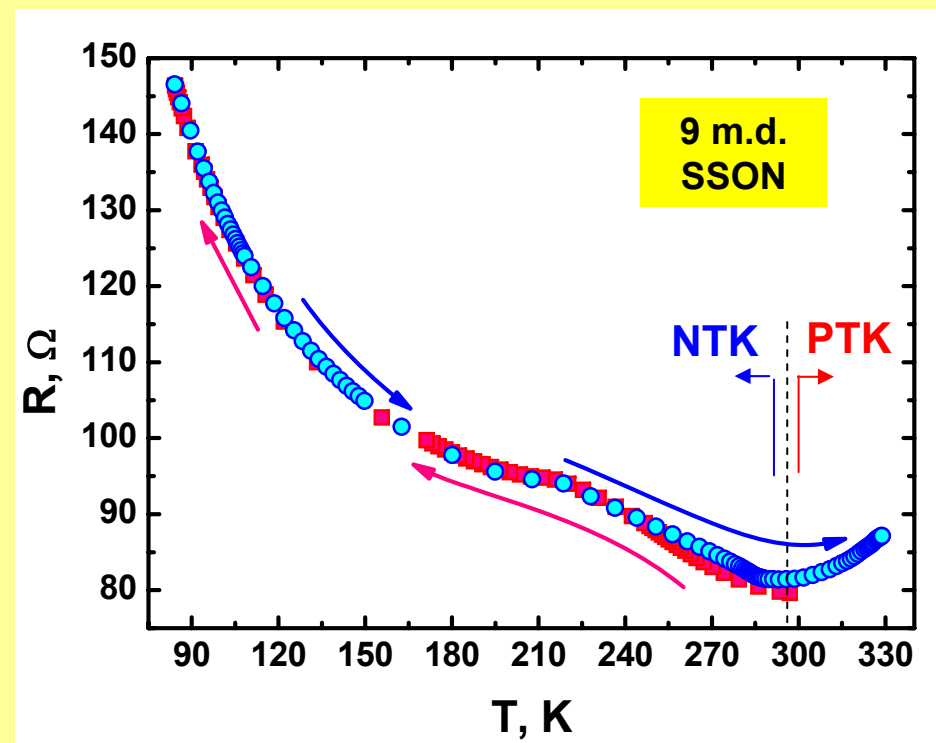
Poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozīti (PSSONK)

Pētot PSSONK elektriskās pretestības izmaiņas temperatūru diapazonā no  $-170^{\circ}\text{C}$  līdz  $65^{\circ}\text{C}$ , konstatēts ka



•vienam un tam pašam paraugam temperatūru diapazonā līdz  $20^{\circ}\text{C}$  ir **negatīvs temperatūras koeficients (NTK)**, bet virs  $20^{\circ}\text{C}$  **pozitīvs temperatūras koeficients (PTK)**,

•levērojot abos temperatūras diapazonos atšķirīgās aktivācijas enerģijas vērtības, tas iespējams ir **saistīts ar lādiņnesēju mehānisma maiņu**

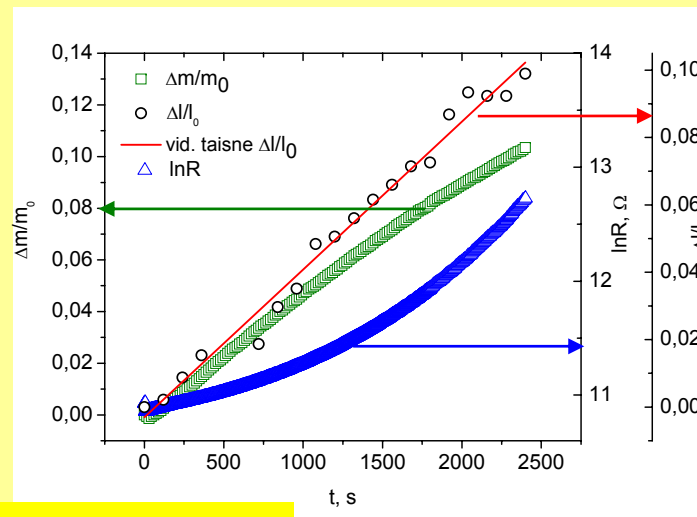


# Nanokompozītu elektrisko īpašību kompleksi pētījumi

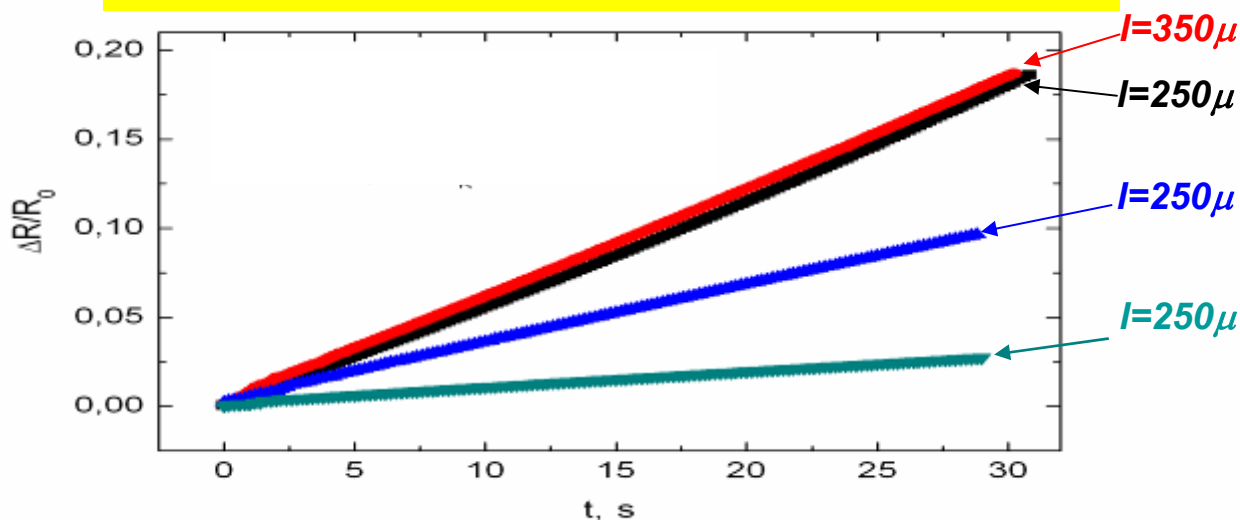
Poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozīti (PSSONK)



- Veicot vienlaicīgu elektriskās pretestības, paraugu masas un izmēru mērīšanu atkarībā no laika, ja paraugs atrodas noteiktas koncentrācijas organisko šķīdinātāju tvaiku atmosfērā,



R izmaiņa piesātinātos toluola tvaikos; 10 m.d. SSON;



# Polimēru un kompozītmateriālu elastisko īpašību modelēšana izmantojot MFC

- Izpētīta makrošķiedru kompozīta (MFC) kā inovatīva svārstību ierosinātāja izmantošanas iespējamība oglekļa šķiedras kompozīta pašsvārstību frekvenču eksperimentālai noteikšanai,

- Salīdzinājumā ar tradicionālajiem svārtību ierosinātājiem

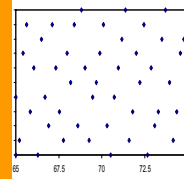
*MFC darbojas uz lielāku laukumu,  
MFC spēka iedarbības diapazons ir lielāks,  
MFC efektīvi strādā uz liektām virsmām*

- Salīdzinot eksperimentālos rezultātus ar galīgo elementu metodes programmā ANSYS modelētajiem, konstatēts, ka MFC pielietošana ir salīdzināma ar tradicionālo svārstību ierosmes avotu izmantošanu

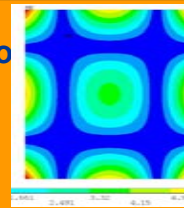
- Izstrādātā metodika, kopā ar MFC pielietošanu, dod iespēju noteikt kompozītmateriāla elastības īpašības to nesagraujot.

**Eksperimenta veikšanas plāns**

$E_1, E_2, G_{12} - ?$



**Aprēķins ar galīgo elementu metodi (ANSYS)**



**Frekvenču aproksimācija**

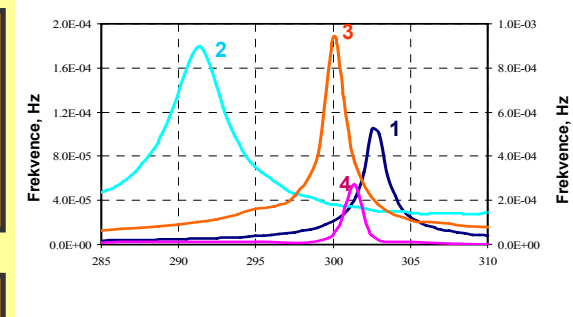
$$f_i^{FEM} = 18.6 - 1.28 * z2 + 1.13 / z1 * z2 + 0.0329 / z22 + 0.592 * z1 * z2$$

**Funkcionālu minimizēšana**

$$\Phi_i(\mathbf{X}) = \sum \frac{(f_i^{\text{exp}} - f_i^{FEM})^2}{(f_i^{\text{exp}})^2} \Rightarrow \min$$

**Materiāla elastības reālās skaitliskās īpašības**

$E_1 = 84.7 \text{ GPa}, E_2 = 5.1 \text{ GPa}$   
 $G_{12} = 4.12 \text{ GPa}$



1 2 3 4



**Frekvences no eksperimenta**

$$f_i^{\text{exp}}$$

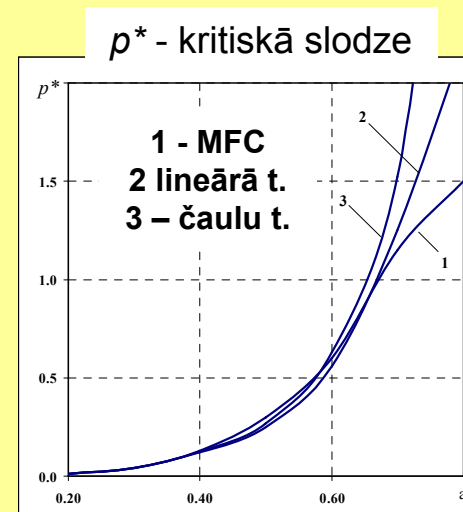
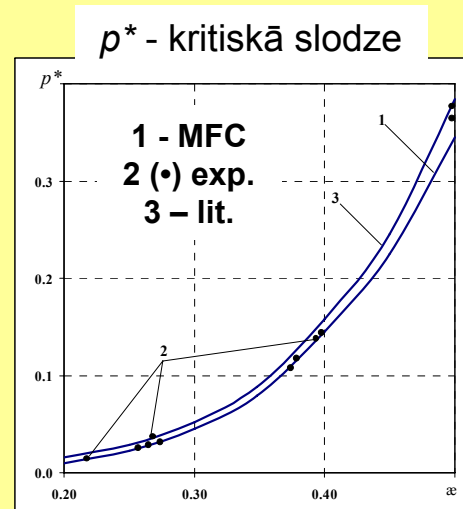


# Polimēru un kompozītmateriālu elastisko īpašību modelēšana izmantojot MFC

Izpētīta MFC – kā sensora – izmantošanas iespējamība stipri deformējamu izstrādājumu (t.sk., gumijas matricas nanokompozītu biezsieni cauruļu) kritisko slodžu savlaicīgai un drošai konstatēšanai.

Izstrādāti algoritmi par kritisko un pēckritisko elastīgo deformāciju noteikšanu, kas balstās uz nelineārās elastības teoriju.

Iegūtie eksperimentālie un skaitliski aprēķinātie kritiskās slodzes rezultāti labi korelē ar rezultātiem, kas aprēķināti pēc plānsienu čaulu teorijas un lineārās elastības teorijas



**Polimēru materiāla parauga savstarpējā iedarbība ar MFC - sensoru**

**Slogojuma diagramma**

The complex block contains three main elements: a schematic diagram at the top showing a ring-shaped polymer sample on a substrate with a sensor, a photograph at the bottom left showing a hand holding a ring-shaped polymer sample and a photograph at the bottom right showing a sensor, and a force-displacement graph at the bottom center. The graph shows a linear relationship between force and displacement, with force on the y-axis (ranging from 0 to 4) and displacement on the x-axis (ranging from 0 to 40).



**PALDIES PAR  
SADARBĪBU!**