

Darba rezultāti 2010. gadā

Latvijas Universitātes aģentūra
„Latvijas Universitātes Polimēru mehānikas institūts”
Eiropas Sociālā fonda projekts

„Cilvēkresursu piesaiste moderno kompozītmateriālu kompleksiem pētījumiem”

Īstenošanas laiks: 2009. gada decembris – 2012. gada novembris

Darbības programma „Cilvēkresursi un nodarbinātība”
Aktivitāte 1.1.1.2. „Cilvēkresursu piesaiste zinātnei”
Vienošanās Nr.2009/0209/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/114

Rīga, 2010



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē



Results of Activities 2010

University of Latvia Agency "Institute of Polymer
Mechanics of the University of Latvia"
European Social Fund Project

"Involvement of Human Resources in Complex Research on Modern Composite Materials"

Start/end dates: December 2009 – November 2012

Programme "Human Resources and Employment"
Activity 1.1.1.2. "Involvement of Human Resources
in Science"

Agreement No.
2009/0209/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/114

Riga, 2010

Latvijas Universitātes aģentūra „Latvijas Universitātes Polimēru mehānikas institūts”

Pētījumu virzieni:

- materiālu deformēšanās un sabrukuma teorētiski un eksperimentāli pētījumi;
- kompozītu konstrukciju mehānika, skaitliskās aplēses metodes un optimizācija;
- materiālu ilglaicīgas pretestības prognozēšana un apkārtējās vides faktoru ietekme uz to ekspluatācijas īpašībām;
- materiālu fizikāli mehānisko īpašību nesagraujošās pārbaudes.

Interesanti fakti par Polimēru mehānikas institūtu:

- tas dibināts 1963. gadā;
- dibinātājs ir Latvijas Zinātņu akadēmija;
- kopš 1997. gada darbojas kā Latvijas Universitātes struktūrvienība;
- pastāv kā bezpeļņas zinātnisku pētījumu organizācija;
- strādā vairāk nekā 90 personu liels kolektīvs (vadošie pētnieki, pētnieki, zinātniskie asistenti, tehniskie darbinieki);
- institūtu veido 6 zinātniski pētnieciskās laboratorijas, 1 zinātniskās pētniecības grupa, 1 specializētais sektors (mehānisko pārbaūžu sektors), administrācija un ēku ekspluatācijas nodaļa;
- tajā darbojas Zinātniski tehniskā bibliotēka;
- kopš 1965. gada izdod starptautiski recenzētu zinātnisku periodisko žurnālu „Механика композитных материалов / Mechanics of Composite Materials”;
- kopš 1965. gada regulāri organizē starptautiskās konferences par polimēru mehānikas un kompozītmateriālu jautājumiem.

University of Latvia Agency “Institute of Polymer Mechanics of the University of Latvia”

Research Directions:

- Theoretical and experimental investigations of deformation and failure of materials, including polymers and composites.
- Mechanics and numerical calculation of composite structures.
- Prediction of the durability of materials and the environmental influence on their service characteristics.
- Methods of nondestruction testing the physico-mechanical properties of materials.

Interesting Facts about the Institute:

- established in 1963;
- established as an independent scientific unit of the Academy of Sciences of Latvian SSR;
- was incorporated into the University of Latvia in 1997;
- exist as a legally independent framework of organization;
- there are more than 90 specialists (leading researchers, researchers, scientific assistants, technical staff);
- there are 6 laboratories, 1 scientific research group, 1 specialized sector, administration and division of building exploitation;
- the Scientific Library of the Institute was opened in 1963;
- since 1965 has been publishing the journal “Mekhanika Kompozitnykh Materialov/Mechanics of Composite Materials”;
- since 1965 has organized regular international conferences on the mechanics of polymer and composite materials.

Eiropas Sociālā fonda projekts „Cilvēkresursu piesaiste moderno kompozītmateriālu kompleksiem pētījumiem”

Projekta mērķis:

Piesaistīt cilvēkresursus „Latvijas Universitātes Polimēru mehānikas institūta” moderno kompozītmateriālu kompleksu pētījumu veikšanai, radot moderno kompozītmateriālu projektēšanas, izgatavošanas un pielietošanas zinātnisko pamatu, kas ilgtspējīgi sekmēs uz inovācijām balstītu Latvijas tautsaimniecības attīstību.

Projekta aktivitātes:

- Ar kompozītmateriāliem pastiprinātu celtniecības konstrukciju izpēti.
- Celulozes šķiedru un to kompozītmateriālu izpēti.
- Dispersi pildīto polimēru kompozītmateriālu īpašību izpēti.

Projekta rezultāti:

- Izstrādāta laboratorijas metodika ar kompozītmateriāliem pastiprinātu būvkonstrukciju monitoringam.
- Izstrādāts ar kompozītmateriāliem pastiprināto būvkonstrukciju plaisu rašanās un attīstības modelis.
- Izveidots ar kompozītmateriāliem pastiprinātā betona modelis.
- Sistematizēta datu kopa par celulozes šķiedru un to kompozītmateriālu mehāniskajām īpašībām.
- Izstrādāti modeļi celulozes šķiedru un to kompozītu mehānisko īpašību aprakstam, prognozēšanai un optimizēšanai.
- Sistematizēta datu kopa par dispersi pildīto polimēru kompozītmateriālu mehāniskajam un fizikālajām īpašībām.

European Social Fund Project “Involvement of Human Resources in Complex Research on Modern Composite Materials”

Aim of the Project:

Involvement of human resources in complex research on modern composite materials at the “Institute of Polymer Mechanics of the University of Latvia”; development of a scientific basis for the design, manufacture and application of modern composite materials which will encourage innovation-based development of the national economy of Latvia in a sustainable manner.

Activities of the Project:

- Research on building structures reinforced with composite materials.
- Research on cellulose fibres and composite materials thereof.
- Research on disperse-filled polymer composite materials.

Results of the Project:

- Development of laboratory methodology for the monitoring of building structures reinforced with composite materials.
- Development of a model of the emergence and development of cracks in building structures reinforced with composite materials.
- Development of a model of composite-reinforced concrete.
- Systematisation of a set of data on cellulose fibres and mechanical properties of cellulose fibre composites.
- Development of models for the description, prediction and optimisation of mechanical properties of cellulose fibres and composites thereof.

Systematisation of a set of data on the mechanical and physical properties of disperse-filled polymer composite materials.

1. projekta aktivitāte. Ar kompozītmateriāliem pastiprinātu celtniecības konstrukciju izpēte

Viena no projekta aktivitātēm ir ar kompozītmateriāliem pastiprinātu celtniecības konstrukciju izpēte. Aktivitātes vadītājs – profesors, Dr.Hab.Ing. Vītauts Tamužs.

Aktivitātes mērķis ir pētīt ar kompozītmateriāliem pastiprinātu celtniecības konstrukciju deformējamību, to sabrukšanas makro- un mikromehāniku, kā arī piedalīties FIB (Federation International du Beton) izveidotās darba grupas pētījumos, kuru mērķis ir apkopot esošo pasaules pieredzi moderno materiālu izmantošanai celtniecībā un izstrādāt vadlīnijas kompozītmateriālu pielietošanai betona un citu celtniecības konstrukciju pastiprināšanai un rekonstrukcijai. Šīs darba grupas veiktie pētījumi ir pamatā jaunu Eiropas standartu izstrādei moderno materiālu pielietošanai celtniecībā.

Mūsdienīgu celtniecībā pēdējo gadu desmitu laikā strauji ienāk jauni materiāli, to vidū arī kompozītmateriāli.

Kompozītmateriāliem, salīdzinot tos ar tēraudu, ir vairākas priekšrocības: noturība pret koroziju, mazāks svars, kas atvieglo transportēšanu un arī lietošanu, augsta stiprība, iespēja izmantot dažādu veidu un formu materiālus, pielāgojot tos katrai konkrētajai situācijai, kurā tie tiek izmantoti. Tā kā kompozītmateriālu īpašības ir atšķirīgas no tērauda īpašībām, tad, lietojot šos materiālus, nedrīkst konstrukcijās vienkārši tēraudu aizstāt ar kompozītmateriālu, ir jāizvērtē atšķirības starp abu materiālu lietošanas iespējām.

Kompozītmateriāli galvenokārt tiek izmantoti divos veidos: kā tērauda armatūras aizvietotājs un kā materiāls esošo betona konstrukciju remontam vai pastiprināšanai. Pastiprināšana vai remonts tiek veikti, pielīmējot kompozīta lentu betona konstrukcijas (pārseguma paneļa, sijas) stieptajā daļā. Šāda veida tehnoloģijas pašlaik tiek plaši pētītas Eiropā, restaurējot vēsturiskas celtnes, kā arī remontējot vai pārbūvējot mūsdienīgas būves. Šādā veidā var pastiprināt ne tikai betona, bet arī koka konstrukcijas.



Galvenie iemesli, kāpēc nepieciešama šāda konstrukciju pastiprināšana vai remonts, ir celtniecības konstrukciju un to fragmentu novecošana, metāla armatūras korozija agresīvas vides ietekmē, nepareizi projektētas konstrukcijas, nepareiza ekspluatācija, konstrukcijas ekspluatācijas slo-

dzes maiņa, esošās konstrukcijas pārbūve un pielāgošana jaunām vajadzībām, kā arī vēsturisku būvju restaurācija. Šī tehnoloģija tiek pielietota arī, pastiprinot betona kolonnas ar kompozītmateriāla, galvenokārt oglekļa šķiedras, aptinumu. Šādi, lietojot kompozītmateriālu ielāpus vai aptinumus, var paaugstināt vai atjaunot konstrukcijas nestspēju un paildzināt tās darbības laiku.

Līdz šim daudzās pasaules valstīs (ASV, Japānā, Francijā, Itālijā, Grieķijā, Zviedrijā) pētījumi par kompozītmateriālu izmantošanu celtniecībā ir veikti atsevišķu konkrētu konstrukcijas elementu analīzei, mazāk pētīt ar kompozītmateriāliem pastiprinātu celtniecības konstrukciju deformējamību, to sabrukšanas makro- un mikromehānikas vispārējos aspektus, kas arī ir bijis galvenais cēlonis kopēju standartu trūkumam šo perspektīvo materiālu izmantošanai celtniecībā.

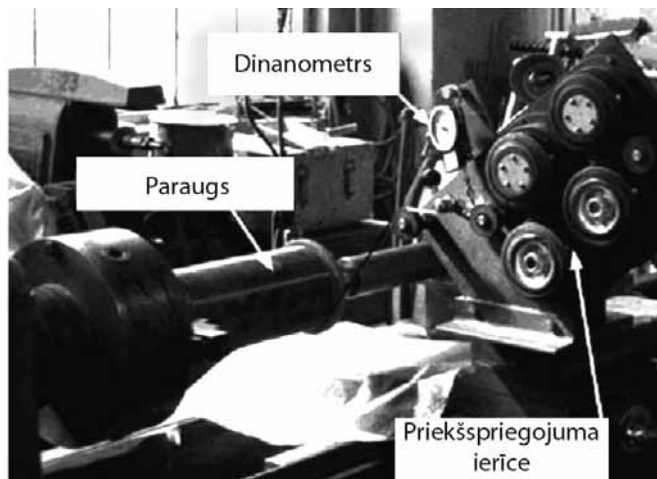
Konkrētā projekta aktivitāte ietver apakšzdevumus:

- betona plaisu rašanās un attīstības matemātiskā modeļa izveide;
- ar dažādiem kompozītmateriāliem pastiprināta betona kvaziplastiskuma matemātiskā modeļa izveide;
- ar bazaltu un termoizturīgu līmi pastiprinātu konstrukciju izpēte;
- ar kompozītmateriāliem pastiprinātu būvkonstrukciju monitoringa (izmantojot akustiskās emisijas metodi un integrētus optiskos sensorus) izpēte;
- ar kompozītmateriāliem pastiprinātu armētu betona kolonnu stabilitātes un stiprības izpēte.

Pirmajā projekta darbības gadā aktivitātes ietvaros veikti vairāki nozīmīgi pētījumi.

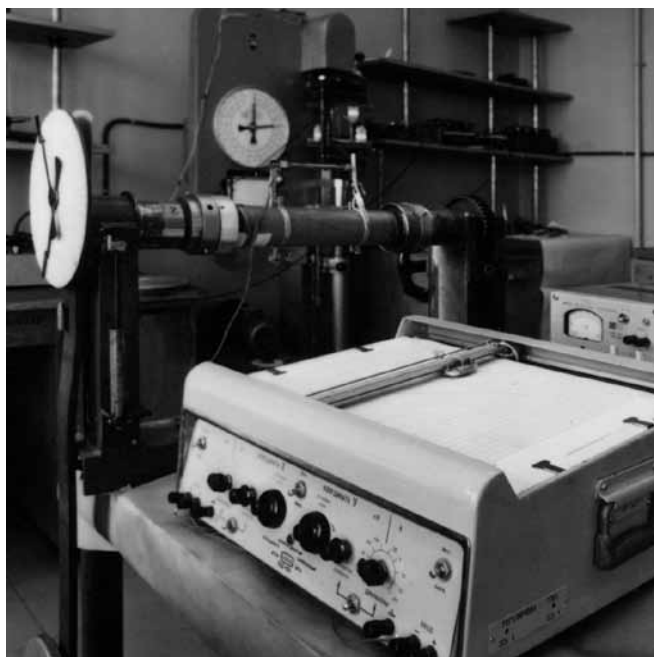
Ir pētītas ar oglekļa šķiedru kompozītu pastiprinātas apaļas betona kolonnas, kuras izgatavotas no dažādas stiprības betona. Apaļā pastiprinātā betona kolonnā kompozīta aptinums tiek slogots aploces virzienā, bet betons atrodas trīsasīgās spiedes spriegumstāvoklī. Tādējādi tiek pilnībā izmantota kompozīta pastiprinājuma augstā stiepes stiprība, ievērojami paaugstinot betona stiprību un maksimālās deformācijas. Lai gan atsevišķi betons un kompozīts ir trausli materiāli, pastiprināts betons uzvedas kā plastisks materiāls, jo pastiprinājums aizkavē bojājumu pieaugumu, ierobežojot betona deformācijas.

Pastiprinājumu var padarīt vēl efektīvāku, ja to iepriekš priekšspriego. Sākotnējais nospriegojums rada sānu spiedienu, kas aizkavē betona plaisāšanu. Tika izgatavots divu dažādu stiprību betons (sagaidāmā stiprība (MPa) jeb betona klase 25 un 50). Visu kolonnu (nepastiprinātu un pastiprinātu) diametrs bija 150mm, garums – 300mm. Betons tika pastiprināts, uztinot ar epoksīdsveķiem piesūcinātu oglekļa šķiedru grīsti uz rotējošas betona kolonnas (*Tenax – J UTS 7731*). Iekārta grīstes uztīšanai ir parādīta 1.attēlā.



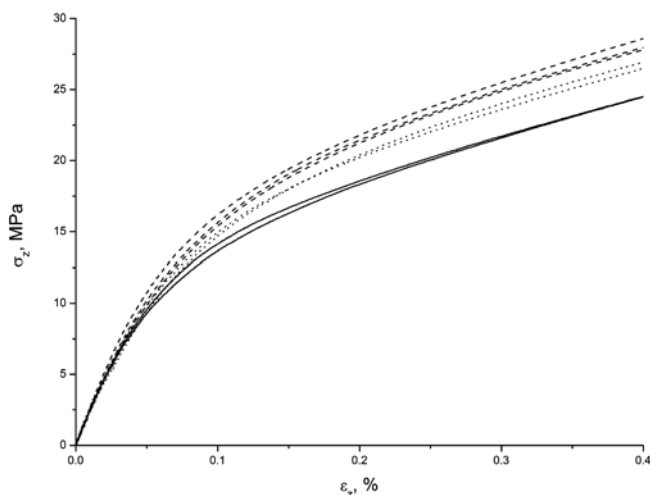
1.attēls.

Grīste no spoles nonāk priekšspriegošanas ierīcē, kura sastāv no četriem ar gumiju pārklātiem riteņiem. Katrs ritenis ir atsevišķi regulējams, lai iegūtu vajadzīgo priekšsprieguma spēku. Grīstes novietojumu kontrolēja, pārvietojot priekšspriegojuma ierīci gar parauga asi. Paraugam veicot pilnu apgriezību, priekšspriegojuma ierīce pārvietojas par 8mm. Pirms grīstes uztīšanas betona virsmai uzklāja epoksīdsveķu slāni. Uztīšanas procesā tika pārbaudīts, lai grīste netiktu bojāta. Lai sabrukums norisinātos betona kolonnu vidusdaļā, kolonnu gali ir papildus jāpastiprina, tāpēc jau aptīto betona kolonnu gali tika apstrādāti, lai novērstu nelīdzenumus un aplīmēti ar šaurām oglekļa šķiedru lentām. Pastiprinātie paraugi tika atstāti nožūt 10 dienas pie temperatūras 22°C. Pastiprinājums sastāvēja no 4 un 8 grīstes slāņiem. Priekšspriegojuma spēks bija 0N un 490N. Paraugi tika slogoti līdz sabrukšanai (2.attēls).



2.attēls.

Pārbaūžu laikā reģistrēja garendeformācijas un šķērsdeformācijas. Lai pārbaudītu, vai spriegumu relaksācija betonā pastiprinājuma nožūšanas laikā izraisa priekšspriegojuma līmeņa samazināšanos, daļa paraugu aptinuma nožūšanas laikā tika turēti zem slodzes, lai samazinātu šo efektu. Rezultātu piemērs ir parādīts 3.attēlā. Nepārtrauktā līnija ir pastiprināta nepriekšspriegota betona aksiālā sprieguma-deformāciju līkne. Betonam sākot intensīvi plaisāt, sprieguma-deformāciju līkne noliecas. Ja paraugs ir priekšspriegots (punktētā līnija), tad līkne noliecas pie augstāka spiedes sprieguma. Visaugstāko spiedes spriegumu noliekumā iegūst, ja paraugs ir priekšspriegots un turēts zem slodzes (pārtrauktā līnija). Diemžēl 50 klases betona kvalitāte nebija apmierinoša, tāpēc turpmākajā projekta gaitā plānots veikt papildus pārbaudes.



3.attēls.

Pastiprinātu betonu slogojot spiedē, tajā rodas neatgriezeniskās jeb neelastīgās deformācijas, kuras ievērojami pārsniedz elastīgās deformācijas, tādēļ reālistisks neelastīgo deformāciju apraksts ir nepieciešams precīzai betona mehāniskās uzvedības modelēšanai. Lai aprakstītu materiālu uzvedību spiedē, bieži tiek izmantota plastiskuma teorija. Prognozēto plastisko deformāciju sakritība ar eksperimentu ir atkarīga no plastiskā potenciāla izvēles. Eksistējošie betona plastiskuma modeļi ir balstīti uz nepastiprināta betona trīsas spiedes ar nemainīgu sānu spiedienu eksperimentu rezultātiem. Šo modeļu spēja pietiekami precīzi aprakstīt ar kompozītmateriāliem pastiprināta betona deformēšanos ir apšaubāma, jo pastiprināta betona uzvedība būtiski atšķiras no nepastiprināta betona uzvedības trīsas spiedē ar konstantu sānu spiedienu.

Projekta sākumā tika apzināta zinātniskā literatūra par plastiskuma teorijas izmantošanu pastiprināta betona mehāniskās uzvedības modelēšanā. Tālāk veikta zinātniskajā literatūrā publicētā betona plastiskuma modeļa (autors *P. Grassl*) ieviešana galīgo elementu paketē ABAQUS un veikta modeļa verifikācija.

Tika konstatēts, ka *P. Grassl* plastiskuma modelis, kas izstrādāts, balstoties uz trīsas spiedes ar konstantu sānu spiedienu rezultātiem, patiešām vāji apraksta ar kompozītmateriāliem pastiprināta betona uzvedību spiedē. Atkarībā no betona klases un aptinuma īpašībām, pastiprinātā betonā var norisināties plastisks tilpuma pieaugums vai plastisks tilpuma samazinājums. Esošie plastiskuma modeļi prognozē tikai plastisku tilpuma pieaugumu, tāpēc tiek strādāts pie plastiskā potenciāla modificēšanas *P. Grassl* izveidotajā plastiskuma modelī, lai būtu iespējams modelēt arī plastisku tilpuma samazinājumu.

Ir apzināta zinātniskā literatūra, kurā betona mehāniskās uzvedības aprakstam izmantoti modeļi, kuri apvieno plastiskuma teoriju un bojājumu mehāniku. Sākuma stadijā paredzēts ieviest galīgo elementu paketē ABAQUS literatūrā publicēto plastiskuma/bojājumu mehānikas modeli, lai pārbaudītu, kā šāds modelis apraksta ar kompozītmateriāliem pastiprināta betona mehānisko uzvedību.

Betons ir komplicēts materiāls, kas sastāv no cietu ieslēgumu (smilts) haotiski sadalītu cementa fāzē. Ir labi zināms, ka div-fāzu betona modelis nav īpaši precīzs, lai novērtētu betona īpašības. Tika piedāvāts trīs-fāzu modelis, kur trešā fāze, starpslānis, ar palielinātu porainību un attiecīgi samazinātu Junga moduli, eksistē starp cementu un smilšu daļiņām. Tipiskais starpslāņa biezums ir apmēram 20-40 mm, kas ir daudz mazāks par smilšu daļiņu diametru. Lai noteiktu betona efektīvas elastīgās konstantes, ir nepieciešams ievērot starpslāni skaitliskajos modeļos.

Lai novērtētu haotiska kompozītmateriāla efektīvās īpašības, precīzos skaitliskos modeļos izmanto reprezentatīvos tilpuma elementus (RTE). Nepieciešama ļoti liela skaitliskā

jauda, lai modelētu materiālu ar starpslāņa mikro-struktūru, izmantojot šādus daudzieslēgumu RTE. Elementāras šūnas ar vienu ieslēgumu ir plaši izmantotas, bet šādu modeļu precizitāte parasti ir neapmierinoša, jo faktiski tiek modelēts materiāls ar kubisku simetriju. Darba gaitā tika parādīts, ka šādu vienkāršu modeļi var izlabot.

Materiālam ar kubisku simetriju ir trīs elastīgas konstantes. Izmantojot specifisku elementāru šūnu, visas konstantes var iegūt no viena risinājuma. Šāda elementāra šūna sastāv no divām daļiņām vienkārša kubiska (SC) un plāksnē centrēta kubiska (FCC) pakojumā (4.attēls), tādējādi var vienkārši modelēt pat daļiņas ar kompleksu mikrostruktūru. Elastīgas īpašības kubiskam materiālam var aprēķināt, izmantojot trīs neatkarīgus pagarinājumus no galīgo elementu risinājuma (5.attēls).

$$E_{[100]} = \frac{F}{L_2 L_3} \left(\frac{dL_1}{L_1} + \frac{dL_2}{L_2} - \frac{dL_3}{L_3} \right)^{-1}$$

$$\mu_{[100]} = \frac{F}{2L_2 L_3} \left(\frac{dL_1}{L_1} - \frac{dL_2}{L_2} \right)^{-1}$$

$$\nu_{[100]} = -E_{[100]} \frac{L_2 dL_3}{F}$$

Efektīvas īpašības haotiskā kompozītmateriālā var aprēķināt no kubiska materiāla elastīgajām konstantēm. Tilpuma stingums ir tāds pats un bīdes modulis tiek aprēķināts,

ja $\frac{3}{5} \mu_e + \frac{2}{5} M_e$, kur μ_e un M_e ir divi bīdes moduli

kubiskā materiālā. Junga modulis un Puassona koeficients haotiskā kompozītā tiek aprēķināts, izmantojot parastas saikāības izotropam materiālām:

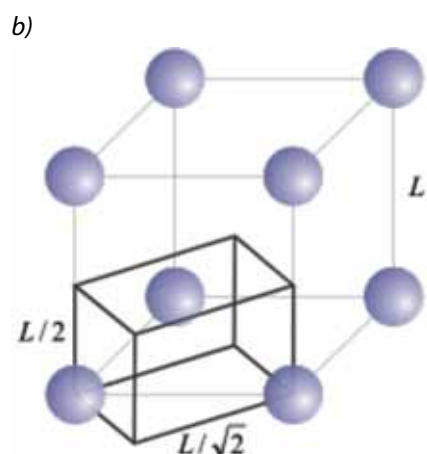
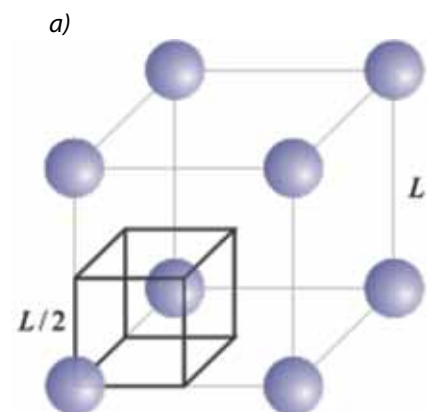
$$M_{[110]} = \frac{E_{[100]}}{2(1+\nu_{[100]})} ; K_{eff} = \frac{E_{[100]}}{3(1-2\nu_{[100]})} ;$$

$$G_{eff} = \frac{3}{5} \mu_{[100]} + \frac{2}{5} M_{[110]} ; E_{eff} = \frac{9G_{eff} K_{eff}}{3K_{eff} + G_{eff}} ;$$

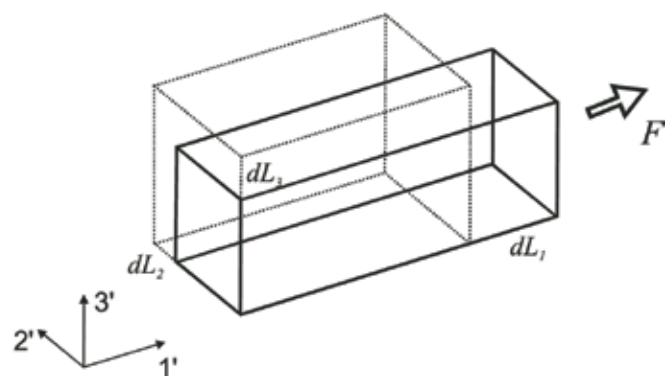
$$\nu_{eff} = \frac{E_{eff}}{2G_{eff}} - 1$$

Efektīvas īpašības, aprēķinātas izmantojot piedāvāto procedūru, dod pietiekami precīzus rezultātus kompozītam ar haotiski izvietotam porām elastīgā matricā (6.attēls), salīdzinot ar skaitliskiem rezultātiem Segurado un Llorca (Segurado, J. and Llorca, J., "A numerical approximation to the elastic properties of sphere-reinforced composites," *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 50, pp.

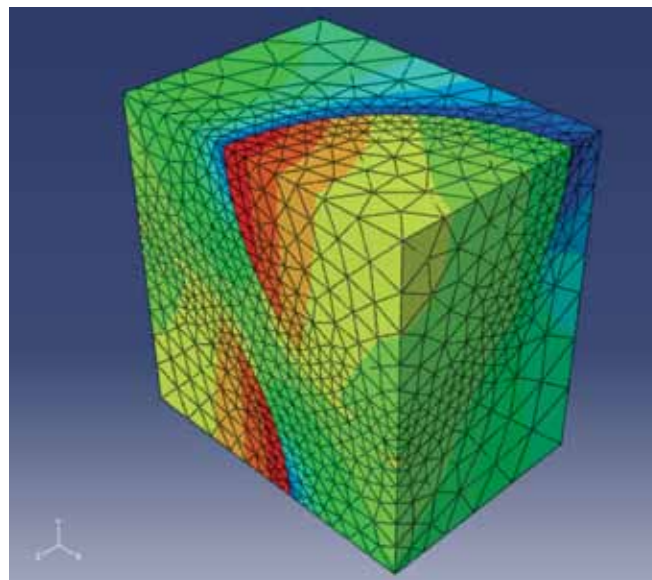
2107-2121, 2002.). Rezultāti cietām daļiņām ir pietiekami labi zemam daļiņu tilpuma saturam (7.attēls). Augstam daļiņu tilpuma saturam Segurado un Llorca rezultāti tiek novietoti starp vienkārša kubiska un plāksnē centrēta kubiska modeļa rezultātiem.



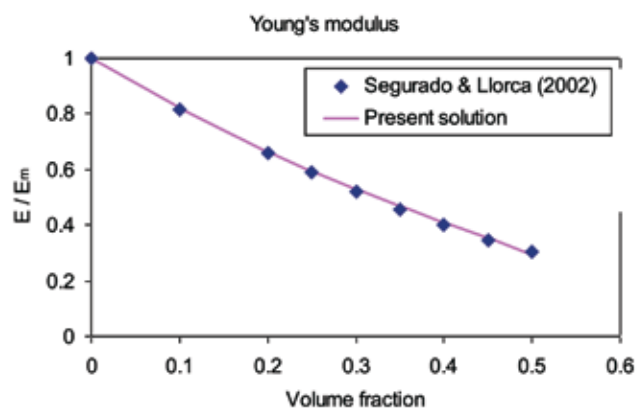
4.attēls. Reprēzentatīvais tilpuma elements (RVE) vienkāršam kubiskam daļiņu novietojumam; a) tipiskais RVE [100] virzienā, b) pagriezts RVE [110] virzienā.



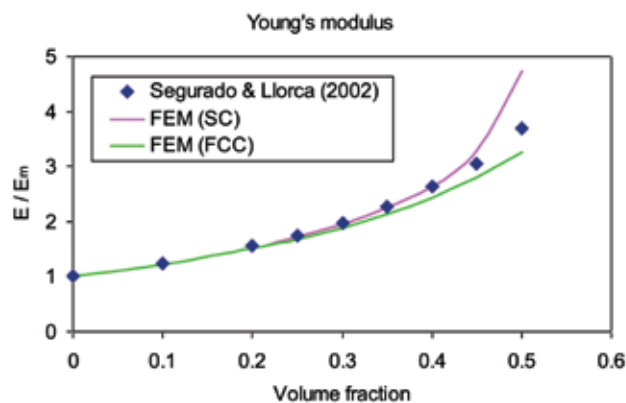
5.attēls. Sākuma un deformētais stāvoklis reprēzentatīvā elementā.



6.attēls. Galīgo elementu modelis elastīgai daļiņai.



7.attēls. Efektīvais modulis materiālam ar porām.

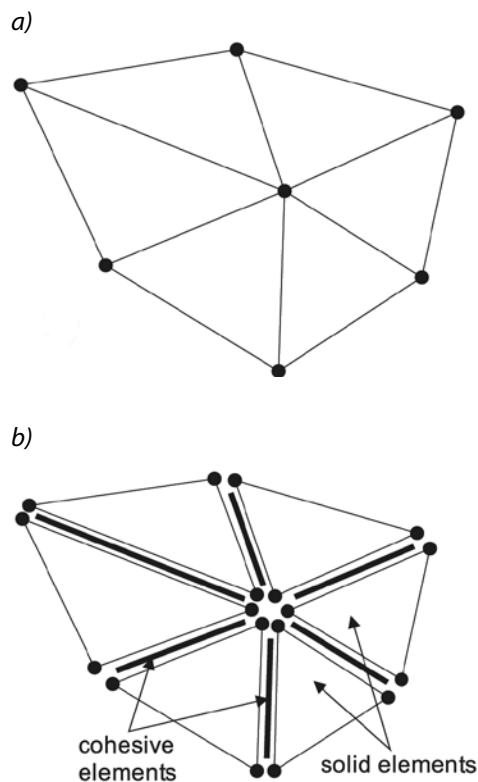


8.attēls. Efektīvais Junga modulis kompozītmateriālam ar haotiski novietotām cietām daļiņām. Skaitliskie rezultāti vienkārši kubiskam un plāksnē centrētam kubiskam materiālam salīdzināti ar Segurado un Llorca risinājumu.

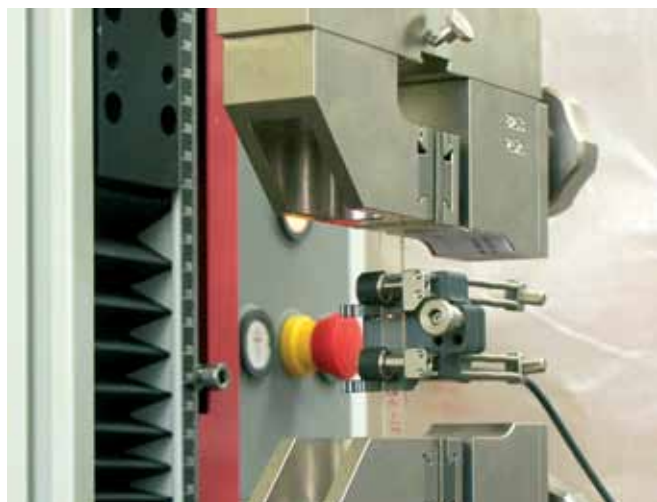
Heterogēna ķermeņa sabrukšana ir sarežģīts process, pastāv daudzu plaisu augšana un mijiedarbe. Viena no iespējamām metodēm plaisu augšanas modelēšanai heterogēnā ķermenī ir galīgo elementu metode ar kohezīvajiem elementiem. Lai modelētu plaisu augšanas stohastisku procesu, kohezīvie elementi tiek ieviesti starp katrām diviem normāliem elementiem. Galvenā problēma šajā metodē ir galīgo elementu režģu ģenerācija, jo komerciālajām galīgo elementu paketēm nav opcijas, lai automātiski modelētu šādu režģi. Ir nepieciešams izstrādāt papildu programmatūru. Projektā tiek paredzēts izmantot komerciālo galīgo elementu paketi ABAQUS sākotnējo režģu ģenerācijai un risinājumam. Risinājuma pamatalgoritms sastāv no šādiem soļiem:

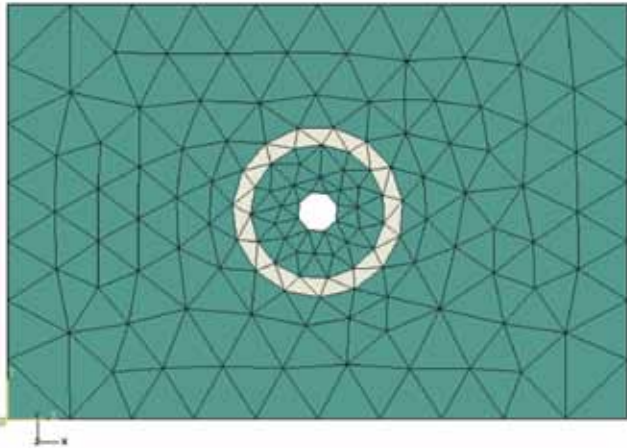
- heterogēna ķermeņa ar porām vai ieslēguma sākumu režģa ģenerācija, izmantojot ABAQUS programmatūru;
- ģenerēta modeļa teksta fails (INP formātā);
- INP faila ielasišana Perl skriptā un sākuma režģu modificēšana:
 - katrs kopējais mezglu punkts starp normālajiem elementiem tiek dubultots (atsevišķs mezglu punkts tiek definēts katram elementam tajā pašā vietā);
 - elementu definīcija tiek modificēta, izmantojot jaunus mezglu punktus, lai elementi nebūtu saistīti ar blakuselementiem;
 - kohezīvie elementi tiek ieviesti starp katrām diviem blakuselementiem, lai savienotu tos kopā;
- jauna INP faila ģenerācija ar visiem jaunajiem elementiem;
- jauna INP faila ielasišana ABAQUS programmatūrā, lai iegūtu konkrētā risinājumu.

9.attēlā ir prezentēts galīgo elementu sākuma režģis (9.attēls (a)) un jauns režģis ar kohezīviem elementiem starp visiem normālajiem elementiem (9.attēls (b)). Projektā šobrīd notiek darbs pie Perl skripta izstrādes, lai realizētu piedāvāto algoritmu. Pirmie sasniegtie rezultāti tika parādīti 10. un 11.attēlā.

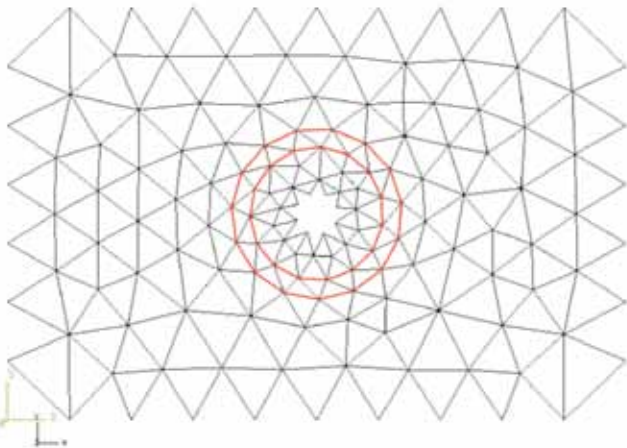


9.attēls. Standarta galīgo elementu režģis (a) un modificēts režģis ar kohezīviem elementiem starp normālajiem elementiem (b).





10.attēls. Galīgo elementu režģis ar diviem materiāliem un poru.



11.attēls. Kohezīvie elementi starp normālajiem elementiem. Ar sarkanu krāsu atzīmēti elementi starp diviem materiāliem.

Summary. Project activity No 1.

The demand for an upgrade and rehabilitation of existing concrete structures has been growing significantly in recent years. The deterioration of the concrete structures due to the ageing and corrosion of steel reinforcements calls for effective rehabilitation methods in terms of low costs and fast application. Urgent need for the strengthening of concrete structures is also due to the considerable increase of the service load (for example, the increase of the traffic amount), which is beyond the original design limit.

The start of the intense internal cracking of the concrete can be delayed if the confined concrete is initially pre-stressed. The pre-stress in the form of initial lateral pressure raises the axial stress at the knee point, effectively slowing the crack growth in the concrete. In this project equipment for producing pre-tensioned confinement is presented and influence of initial lateral pressure is investigated.

Confined concrete in compression undergoes inelastic strains that are significantly greater than the elastic strains. Therefore realistic description of the inelastic or plastic strains is important for the modeling of the response of pressure sensitive materials such as concrete. Usual procedure nowadays is to apply the theory of plasticity in situations, where material acts in compression. In the framework of the theory of plasticity the accuracy of the predicted plastic strains depends on the proposed plastic potential. Existing plasticity models are mainly based on the results from the triaxial compression tests with constant lateral pressure, but it is questionable whether these models can accurately predict the deformability of FRP-confined concrete because, as it will be shown later, the response of the FRP-confined concrete is different from the response of concrete in tests with constant lateral pressure. In the current project results from the FRP-confined concrete column tests are analyzed to determine the evolution rule of the plastic strains.

Concrete is a complex material, which consists of hard aggregate inclusions (sand) randomly dispersed in cement paste. The accurate numerical models for the prediction of the effective properties of random composite use resulting representative volume element (RVE) containing many randomly positioned inclusions with periodic boundary conditions to achieve quasi-isotropic behaviour of the material. However, in case of composite with thin interphase multi-inclusion RVE requires significant computational power to model the microstructure of the particles. Single inclusion unit cell models are very attractive for their simplicity, but the accuracy of such models is generally poor, since they model the materials with cubic arrangement of the particles. It is shown in this project that the accuracy of the simple models with cubic symmetry can be greatly improved without the need of high computational power.

Fracture of heterogeneous solids like concrete is complex process, which involves multiple crack generation and coalescence in different phases of the material. One of the possible methods to simulate crack growth in the heterogeneous solids is finite element method with cohesive elements. To simulate stochastic process of cracks growth, the cohesive elements are inserted between every pair of normal solid elements. The main difficulty in this method is generation of finite element model, since commercial finite element codes do not have option for generation of such meshes. Additional in-house programs are necessary to solve this problem. In this project it is planned to use general-purpose commercial finite element code ABAQUS for generation of the initial mesh and solution, with intermediate step of mesh modification.



2. projekta aktivitāte. Celulozes šķiedru un to kompozītmateriālu izpēte

Projekta 2. aktivitāte ir celulozes šķiedru un to kompozītmateriālu izpēte. Aktivitātes vadītājs – Dr.Sc.Ing.Jānis Andersons. Vienas no potenciāli daudzsološākajām celulozes šķiedrām ar dabīgu izcelsmi ir lini. Tās bieži tiek lietotas kā stiegrojums polimēru matricu kompozītmateriālos. To galvenās priekšrocības ir augsts stingums, zems blīvums un laba cena. Turklāt tas ir videi draudzīgs materiāls.

Galvenās linu šķiedru un to kompozītu modelēšanas problēmas saistītas ar šķiedru izcelsmi un apstrādes īpatnībām, kas noved pie ievērojamas visu galveno raksturlielumu izkliedes. Līdzšinējā darba rezultātā projektā izveidots modelis linu elementāršķiedru stiprības izkliedes aprakstam.

Linu šķiedras galvenokārt tiek lietotas konstrukcijās, kur nepieciešams paaugstināt materiālu stingumu un ir svarīgi spēt to kvantitatīvi prognozēt. Tādēļ arī šim nolūkam izveidots atbilstošs matemātisks modelis.

Daļa no iegūtajiem rezultātiem jau ir publicēta zinātnisku rakstu veidā starptautiski citējamos žurnālos un konferenču materiālos:

1. J. Andersons, E. Spārniņš. „The effect of kink bands on the strength distribution of flax fibers” *Proceedings of European Conference on Composite Materials 2010 (ECCM14)*, Budapest, Hungary, 2010, Paper ID: 517-ECCM14, 7 p.
2. J. Modniks, J. Andersons. „Modeling elastic properties of short flax fiber reinforced composites by orientation averaging” *Computational Materials Science*, 2010, Vol. 50, 595–599.
3. J. Modniks, J. Andersons. „Prediction of the stiffness of short flax fiber reinforced composites by orientation averaging” *23rd Nordic Seminar on Computational Mechanics (NSCM-23)*, A. Eriksson and G. Tibert (Eds), KTH, Stockholm, 2010, 146-149
4. J. Andersons, E. Spārniņš. „The effect of damage and geometrical variability on the tensile strength distribution of flax fibers” *Key Engineering Materials*, 2011, Vol. 452-453, 137-140.

Linu elementāršķiedru stiprības izkliedes modelēšana. Mehānisko bojājumu un ģeometrisko īpašību ietekme.

Gan sintētisko, gan dabīgo šķiedru stiepes stiprībai piemīt ievērojama izkliede un atkarība no šķiedras garuma. Trauslu šķiedru stiepes stiprības izkliede parasti tiek aprakstīta ar divparametru Veibula sadalījumu. Tomēr reālām šķiedrām ražošanas apstākļi ir nepārtraukti mainīgi, un tas rada to, ka stiprības sadalījums šķiedru kopai ir tuvs modificētajam Veibula sadalījumam:

$$P(\sigma) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{l}{l_0} \right)^{\frac{\gamma}{\beta}} \left(\frac{\sigma}{\beta} \right)^{\alpha} \right]$$

kur eksponente $\gamma \in [0, 1]$ ataino starpšķiedru stiprības variāciju. α , β ir Veibula formas un mēroga parametri, un l_0 normalizējošs parametrs ar garuma dimensiju.

Lūku elementāršķiedrās (tajā skaitā lini un kaņepes) apstrādes porcesu rezultātā bieži vien ir specifiski mehāniskie defekti jeb nodas, kas aizņem visu šķiedras platumu.

Šādas nodas būtiski ietekmē šķiedras stiprību. Var aplūkot lūku šķiedru, kas pakļauta aksiālam spriegumam σ . Tiek pieņemts, ka šķiedras plīsums veidojas nodā vai arī veselajā šķiedras daļā, kas ir savstarpēji nesaistīti notikumi. Tādā gadījumā šķiedras plīšanas varbūtība pie dotā sprieguma ir:

$$P(\sigma) = 1 - (1 - P_k(\sigma))(1 - P_i(\sigma))$$

kur $P_k(\sigma)$ apzīmē iespējamību saplīst šķiedras nodai

un $P_i(\sigma)$ ir no defektiem brīvas šķiedras stiprības sadalījums. Iespējams parādīt, ka elementāršķiedrām rezultējošais sadalījums ir bimodāls modificētais Veibula sadalījums

$$P(\sigma) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{l}{l_0} \right)^{\frac{\gamma_k}{\beta_k}} \left(\frac{\sigma}{\beta_k} \right)^{\alpha_k} - \left(\frac{l}{l_0} \right)^{\frac{\gamma_i}{\beta_i}} \left(\frac{\sigma}{\beta_i} \right)^{\alpha_i} \right]$$

Parametri γ , α , β ar indeksu k attiecas uz nodu stiprību un attālumu īpašībām, kamēr tie ar indeksu i ir saistīti ar šķiedru diametru sadalījumu un nebojātu šķiedru stiprības sadalījuma parametriem. Šī bimodālā sadalījuma funkcija labi sakrīt ar eksperimentālajiem datiem Latvijā ražotajām Elisa un Diana šķirnes linu šķiedrām.

Linu šķiedru kompozītmateriālu elastīgo īpašību modelēšana

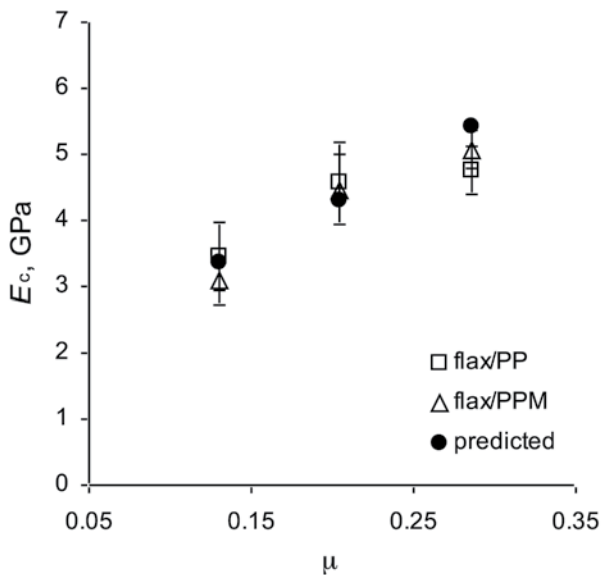
Parasti šķiedras linu kompozītos ir īsas un haotiski orientētas. Tādu kompozītu elastīgās īpašības visbiežāk tiek prognozētas, izmantojot elementāro, tuvināto maisījuma likumu. Galvenais iemesls šāda vienkāršota modeļa (kurš ievēro tikai armējošo šķiedru stingumu garenvirzienā) lietošanai, iespējams, ir šķiedru elastīgo īpašību eksperimentālu pētījumu trūkums. Tomēr esošie rezultāti liecina, ka šķiedras ir augstā mērā anizotropas un to stingums garenvirzienā un šķērsvirzienā atšķiras gandrīz par veselu lieluma kārtu. Var secināt, ka šķiedru elastīgo īpašību anizotropija ir būtiska un ir jāņem vērā prognozējot kompozītu mehāniskās īpašības.

Kristāliskās celulozes fibrillu spirālveida izkārtojums lielā mērā nosaka šķiedru stingumu garenvirzienā. Stiepjot šādas šķiedras, rotācijas dēļ parādās šķiedras vērpe, un iespējams šķiedras rezultējošais stingums ir ievērojami lielāks, nekā tas būtu brīvai šķiedrai. Šādas linu elementāršķiedras stinguma konstanšu noteikšanai izveidots complicēts, bet reālistisks galīgo elementu modelis. Modelis tika kalibrēts, variējot fibrillu savērpuma leņķi, līdz šķiedras efektīvais modulis sakrita ar eksperimentāli noteikto vērtību 69GPa. Tādējādi noteikts celulozes fibrillu leņķis pret šķiedras asi $\varphi = 7,25^\circ$.

Patvaļīgi orientēta išķiedru kompozīta mehāniskās īpašības iespējams prognozēt, lietojot stinguma vidējošanas metodi. Lai to varētu pielietot, jāzina elastīgās īpašības vienības šūnai, kas sastāv no šķiedras un to iekļaujošās matricēs (jeb atbilstoša vienvirziena kompozīta elementa). Vienības šūnas mehānisko īpašību modelēšana tika veikta, lietojot galīgo elementu metodi. Tuvināti modelējot šūnu kā transversu izotropu materiālu, tā efektīvās tehniskās elastības konstantes tikta noteiktas no deformācijas enerģijas dažādiem sloģošanas veidiem.

Zināms, ka faktiskajam šķiedru garuma sadalījumam kompozītā ir ierobežota ietekme uz kompozīta stingumu, un vidējā šķiedras garuma lietošana aplēsēs nodrošina pietiekošu precizitāti kompozīta īpašību novērtējumam. Tāpat arī pirmajā tuvinājumā šķiedru virziena sadalījums pieņemts vienmērīgs. Pielietojot virzienu vidējošanas metodi, aprēķinātas visas kompozīta stinguma tenzora komponentes.

Modelēšanas rezultātā iegūtās elastības konstanšu vērtības salīdzinātās ar ekstrudēta linu šķiedru popilropilēna kompozīta eksperimentālajām vērtībām. Tā, piemēram, prognozētā Janga moduļa vērtības kā funkcijas no šķiedru tilpuma daļas kompozītā salīdzinājums ar eksperimentālajiem rezultātiem parādīts 12.attēlā.



12.attēls.

Redzama lieliska sakritība zemam šķiedru saturam, kamēr $m = 0,29$ prognozētais stingums sakrīt ar eksperimentālas izkliedes augšējo robežu. Teorētiskās Puasona koeficienta vērtības ir mazjūtīgas pret šķiedru tilpuma daļu un aplūkotajām vērtībām atrodas 0,35-0,33 robežās.



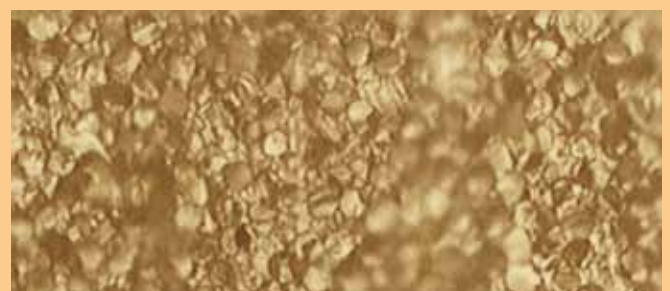
Summary

Project activity No 2

Elementary bast fibers, apart from acceptable specific mechanical properties, possess marked variability in geometrical and damage characteristics that affects their axial tensile strength. A strength distribution function is derived that accounts for the effect of kink bands and fiber diameter scatter. The distribution function is validated by applying it to experimental strength data of both intact, carefully hand-decorticated, and damaged elementary flax fibers obtained by standard processing. The results suggest that the presence of kink bands is a fiber strength limiting factor.

Modeling elastic properties of short flax fiber reinforced composites by orientation averaging.

Natural fibers of plant origin, used as reinforcement in polymer matrix composite materials, exhibit highly anisotropic elastic properties due to their complex internal structure. Mechanical properties can be evaluated not only by tests but also by mechanical models reflecting the principal morphological features of fibers. Such a FEM model is applied to estimate the elastic properties of a unit cell of a short-fiber reinforced composite, an elementary flax fiber embedded in a polymer matrix. Orientation averaging approach is used for prediction of the stiffness of short flax fiber reinforced polymer matrix composite. The estimates of Young's modulus are compared to the test results of extruded flax/PP composite.



3. projekta aktivitāte.

Dispersi pildīto polimēru kompozītmateriālu īpašību izpēte

Projekta aktivitātes uzdevums ir dispersi pildīto polimēru kompozītmateriālu izpēte. Aktivitātes vadītājs – Dr.Sc. Ing. Andrejs Aņiskevičs

Aktivitātes ietvaros trīs gadu laikā ir plānots izgatavot paraugus no polimēru matricām pildītām daļiņām, sistematizēt datu kopu par dispersi pildīto polimēru kompozītmateriālu mehāniskajām un fizikālajām īpašībām, kā arī izstrādāt un pilnveidot mehānisko un fizikālo īpašību prognozēšanas modeļus un metodes.

Aktivitātes ietvaros pirmajā darba gadā veikti vairāki uzdevumi un sasniegti daudzveidīgi rezultāti.

Veikti īslaicīgās šķīdnes pārbaudes stiepē epoksīda sveķiem (LY 556, Hexion) pildītiem ar 0,1%wt. daudzsienu oglekļa nanocaurulītēm (Baytubes, C105P). Noskaidrots, ka pie šāda zema pildījuma satura tīrā polimēra un nanokompozīta viskoelastīgā uzvedība ir praktiski identiska plašā spriegumu diapazonā. Abiem materiāliem ir raksturīga nelineārā šķīdne pie spriegumiem lielākiem par 0,4 no stipības; neatgriezeniskās deformācijas ir niecīgas. Plānots turpināt šķīdnes pētījumus nanokompozītiem ar lielāku nanocaurulīšu saturu.

Eksperimentāli izpētīta mitruma sorbcijas un izplešanās kinētika epoksīda sveķiem pildītiem ar 0,1%wt. oglekļa nanocaurulītēm atmosfērā ar RH = 98%. Abiem materiāliem ir raksturīga difūzijas mitruma sorbcija, un sorbcijas līknēm pēc izteikta lineāra apgabala seko piesātinājums. Taču noskaidrots, ka pie vienādiem difūzijas koeficientiem nanokompozītam mitruma piesātinājuma vērtība ir zemāka nekā tīrajām polimēram ($D = 0,0015 \text{ mm}^2/\text{h}$, $w_{\infty}(\text{epoxy}) = 0,75\%$, $w_{\infty}(0,1\% \text{CNT}) = 0,7\%$). Sorbcijas līknes ir labi aprakstītas ar Fika difūzijas modeli. Neskatoties uz mitruma sorbcijas atšķirībām, mitruma izplešanas kinētika epoksīda sveķiem un to nanokompozītam ir praktiski identiska: mitruma izplešanas deformācijas lineāri pieaug pirmajā sorbcijas apgabalā un sasniedz līdzsvaru līdz ar paraugu mitruma piesātinājumu. Aprēķināts mitruma izplešanas koeficients, tā vērtība ir $b = 0,18$ abiem materiāliem.

Eksperimentāli izpētīta mitruma sorbcijas un izplešanās kinētika poliamīdam 12 un to nanokompozītiem pildītiem ar oglekļa nanocaurulītēm un alumīnija oksīda Al_2O_3 daļiņām atmosfērā ar RH = 98%. Kopumā tika pētītas 13 paraugu sērijas, kuras atšķirās ar pildījuma saturu poliamīdā un pildvielas modifikācijas veidu. Noskaidrots, ka atšķirības starp tīrā polimēra un nanokompozītu mitruma sorbcijas un izplešanas kinētiku ir neievērojamas un ir saistītas galvenokārt ar hidrofilās saistvielas lielāku vai mazāku ieguldījumu. Nanošķiedru modifikācijas efekts arī ir niecīgs.

Sorbcijas līknes labi aprakstītas ar Fika difūzijas modeli; aprēķināti difūzijas koeficienti un noteiktas līdzsvara mitruma satura vērtības. Difūzijas koeficientu vērtības visām paraugu sērijām (ievērojot pildvielas hidrofobitāti un saistvielas ieguldījumu) ir $D = 0,0009 \text{ mm}^2/\text{h}$, bet relatīvais līdzsvara mitruma saturs – $w_{\infty} = 1\%$. Mitruma izplešanas koeficients, kas noteikts otrajā sorbcijas etapā, visiem pētāmiem materiāliem ir $b = 0,36$.

Eksperimentāli izpētīta PA nanokompozītu deformācijas uzvedības kvaistatiskā stiepē pēc paraugu mitrināšanas. Noskaidrots, ka arī pēc materiālu kondicionēšanas mitrā vidē nanokompozītiem piemīt lielākas elastības moduļa un tecēšanas spriegumu vērtības nekā tīrām poliamīdam. Nanošķiedru un alumīnija nanodaļiņu modifikācijas efekts ir neievērojams.

Apgūta nanodaļiņu disperģācijas metodika, izmantojot 3-veltņu kalandru, un nanokompozītu uz termoreaktīvo polimeru bāzes izgatavošanas metodes. Izgatavota nanokompozītu paraugu sērija: epoksīda sveķi (RIM135, Hexion) pildīti ar oglekļa nanocaurulītēm (Baytubes, C105P, dažādas koncentrācijas). Veikta materiālu termomehānisko īpašību izpēte ar DMTA metodi. Noskaidrots, ka oglekļa nanocaurulīšu piemaisīšana augsti izturīgos epoksīda sveķos neievērojami izmaina moduli un praktiski neietekmē stiklošanas temperatūras vērtības. Materiālu izturēšana mitrā atmosfērā arī neizraisa būtiskas izmaiņas termomehāniskajā uzvedībā.

Izpētīta termoplastisko polimēru (Poly (ethylene-co-Vinyl) acetate – EVA420 un EVA450) pildītu ar daudzsienu oglekļa nanocaurulītēm mehāniskā uzvedība kvazistatiskās stiepes pārbaudēs. Noskaidrots, ka nanokompozītu elastības modulis un stiprība būtiski pieaug līdz ar nanodaļiņu ievadīšanu polimērā, bet deformācijas pie sabrukšanas samazinās. Novērtēta stiepes ātruma ietekme uz materiālu raksturlielumiem un parādīts, ka tīro polimēru mehāniskā uzvedība praktiski nemainās, pieaugot stiepes ātrumam pat 100 reizes; savukārt nanokompozītu stiprība ievērojami pieaug, bet deformācija pie sabrukšanas samazinās līdz ar izpētes ātruma palielināšanu. Izpētītas materiālu siltumfizikālās īpašības ar diferenciālas kalorimetrijas (DSC) metodi; noteikti stiklošanas pārejas un kušanas/kristalizācijas raksturlielumi. Izpētīta materiālu ūdens sorbcijas kinētika pie 50 °C un to ietekme uz mehāniskajām un siltumfizikālajām īpašībām. Noskaidrots, ka nanokompozīti uzsūc daudz vairāk ūdens, bet ar ievērojami zemāku difūzijas ātrumu, nekā tīrie polimēri. Uzsūktais ūdens praktiski neietekmē materiālu stiklošanas temperatūru, bet izmaina kušanas/kristalizācijas gaitu. Salīdzinot tīro polimēru un to nanokompozītu mehāniskās un siltumfizikālās īpašības, novērtēta dažādu izgatavošanas metodiku efektivitāte un īpatnības.

Eksperimentāli izpētītas pildīta elastomēra (butadiēna-stirola gumija) pildīta ar kvarca daļiņām) šķērsdeformācijas vienass stiepes gadījumā mazo un lielo deformāciju apgabalos. Noteiktas Puasona koeficienta un tilpuma izmaiņas atka-

ribas no deformācijas un novērtēta materiāla nespējamības robeža. Izpētīta materiāla uzvedību pie cikliskās vienas sloģšanas un novērtēts mikstināšanās jeb Mullinsa efekts; noteiktas histerezes zudumu un paliekošās deformācijas atkarības no daļiņu satura un sloģšanas ciklu skaita. Izanalizēta un salīdzināta tilpuma izmaiņas un histerezes zudumu kinētika un izvirzītas hipotēzes par deformācijas mehānismiem pildītos elastomēros. Izpētīta elastomēra viskoelastīgā uzvedība šļūdē un novērtēta pildījuma ietekme uz to.

Uz elastomēra, pildīta ar kvarca nanodaliņam, piemēra tika pētīta nanokompozīta uzvedība kvazistātiskā deformēšanās režīmā (līdz sabrukumam), cikliskās sloģšanās ar pastāvīgu un mainīgu maksimālu relatīvu pagarinājumu un šļūdes pie pastāvīgas slodzes līmeņa. Kvazistātiskā režīma eksperimenta rezultātu analīze lietojot Kluppela-Šramma modeli, kas apraksta elastomēra hiperelastīgumu un pildvielas klastera sabrukumu kompozīta deformēšanās procesā parādīja, ka:

- ar pildvielas satura palielināšanu palielinās kompozīta elastības modulis, stiprība un maksimālais pagarinājums, kā arī pildvielas daļiņu klastera izmērs;
- kompozīta elastības moduļa atkarība no pildvielas efektīva satura var būt aprakstīta ar Guth-Gold vienādojumu, kas apliecina stiprināšanas hidrodinamisku dabu.
- pildvielas klastera izmēra izmaiņas kompozīta deformēšanās procesā (normēta uz maksimālo izmēru) ir viena atkarība kompozītiem ar dažādu pildvielas saturu.

Kluppela-Šramma modelis ar parametriem noteiktiem no aktīvas sloģšanas eksperimenta rezultātiem kvalitatīvi pareizi apraksta histerezes cilpu cikliskajos izmēģinājumos, bet rāda sistemātisku kļūdu: aprēķināta atslodzes līnija atrodas augstāk pār eksperimentālo.

Lai noteikt viskoelastīguma efektu uz histerezes cilpu, tika izanalizēti šļūdes eksperimenta rezultāti pie četriem slodzes līmeņiem. Analīze īstā sprieguma – īstās deformācijas mērvienībās sniegusi noteicošo vienādojumu, kas apraksta līdzsvarotās deformācijas likni kvazistatikas režīmā. Šis vienādojums ir kopīgs elastomēram ar dažādu pildvielas daudzumu. Funkcijas definīcijas apgabals – elastomēra īsto deformāciju diapazons – paplašinās ar pildījuma daudzumu.

Relatīva pagarinājuma atkarība no laika tika gūta no atgriezeniskas šļūdes eksperimenta rezultātiem un pielietota histerezes cilpai prognozēšanai cikliskajos izmēģinājumos ar pastāvīgu maksimālu relatīvu pagarinājumu. Prognoze ir salīdzināma ar eksperimenta datiem.

Izpētīta temperatūras ietekme uz polimēru lineāras viskoelastības enerģijas robežu. Piedāvāta metodika lineāras-nelineāras viskoelastīgas uzvedības robežsprieguma novērtēšanai, izmantojot enerģijas pieeju pie dažādām temperatūrām un dažādiem laika intervāliem. Metodika aprobēta epoksīda sveķu šļūdes datiem plašā spriegumu un temperatūras diapazonā.

Tika izanalizēti laboratorijā gūtie eksperimentālā pētījuma rezultāti, kā rezultātā tika noteikts, ka:

- nanokompozīta, kā arī bāzes polimēra mitrināšana noved pie šļūdes paātrinājuma. Viskoelastīga padevīguma atkarība no mitruma daudzuma materiālā tiek aprakstīta, ņemot vērā mitruma-laika analogijas principu. Nanokompozīta retardācijas laika spektrs pie pildījuma koeficienta $\mu < 6\%$ praktiski sakrīt, bet pie $\mu = 6\%$ atšķiras no saistvielas retardācijas laika spektra. Mitruma-laika redukcijas funkcijai, kas raksturo materiāla mitrinājuma ietekmes efektu uz tā viskoelastīgām īpašībām, ir minimālās parametru vērtības nanokompozītiem ar pildījuma saturu $\mu = 2\%$. Tālākā pildījuma satura palielināšana noved pie redukcijas funkcijas parametru palielinājuma un pie $\mu = 6\%$ to vērtības sakrīt ar bāzes polimēra vērtībām;
- mitruma-laika redukcijas funkcijas korelācija ar īstermiņa izturības izmaiņām pie mitruma satura izmaiņām materiālā liecina par nanokompozīta deformācijas viskoelastīgo raksturu pie dažāda mitruma satura daudzuma.
- mitruma-laika redukcijas funkcijas korelācija ar paraugu apjoma izmaiņu pie mitrinājuma ļauj veikt tās novērtējumu, izmantojot uzbriešanas rezultātus.

Ar mērķi radīt dispersi pildītus funkcionālos kompozītus ar bioniskām īpašībām (pašsadziedēšanas un bojājumu indicējošām īpašībām), bija eksperimentāli izstrādāta plaisu tilpuma/platuma novērtēšanas metodika. Konstatēts, ka trausliem epoksīdu paraugiem ar atlikuma stingrību 50 – 150 N/mm paliek pēc slodzes noņemšanas plaisa platumā 5 – 8 μm . Plaisas izmērs ļāva novērtēt dziedējoša aģenta daudzumu, kas nepieciešams plaisas aizpildīšanai eksperimentos ar pašsadziedēšanas roku simulāciju. Salīdzināti vairāki dziedējošo aģentu efektivitātes līmeņi. Piemēram, cianoakrilāts demonstrēja 100% dziedēšanas efektivitāti salīdzinājumā ar 80 % stehiometrisko sveķu un cietinātāja maisījuma gadījumā. Abos gadījumos pilnīgi atjaunojās paraugu cietība.

Bojājumu indicēšanas virzienā priekš „zilumu” veidojošiem pārklājumiem ir izstrādāta mehāniskās iespēšanas procedūra. Metodika ļāva kvantitatīvi novērtēt pārklājumu indicējošās īpašības un izvirzīt rekomendācijas ķīmiķiem pārklājuma sastāva uzlabošanai.

Projekta pirmajā gadā tika veikta vakuma infūzijas metodes tehnoloģijas izstrāde, lai izgatavotu slāņainu kompozītu Polimēru mehānikas institūtā.

Galvenie rezultāti ir apkopoti zinātniskajos rakstos:

- O. Starkova, G. C. Papanicolaou, A. G. Xepapadaki, A. Aniskevich. 'A method for determination of time- and temperature-dependences of stress threshold of linear-nonlinear viscoelastic transition: energy-based approach.' Submitted to *Journal of Applied Polymer Science*, October 2010.
- Glaskova, T., Aniskevich, A., 'Moisture effect on deformability of epoxy/montmorillonite nanocomposite', *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, Vol. 116, No. 1, pp. 493 - 498.
- Starkova, O., Aniskevich, A., 'Poisson's ratio and the incompressibility relation for various strain measures with the example of a silica-filled SBR rubber in uniaxial tension tests', *Polymer Testing*, 2010, Vol. 29, pp. 310 – 318.
- Faitel'son, E. A., Glaskova, T. I., Korkhov, V. P., and Aniskevich, A. N., 'Structural changes in a clay-containing nanocomposite with a different moisture content caused by its deformation', *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 83, No. 3, 2010, pp. 433-451.
- Glaskova, T, Aniskevich, A., Giordano, M., Zarrelli, M., 'Quantitative optical analysis of filler dispersion degree in nanocomposite', *Proceeding of the 14th European conference on composite materials (ECCM-14)*, 7-10 June 2010, Budapest, Hungary. Paper ID: 646-ECCM14.
- Aniskevich K., Starkova O., and Aniskevich A., 'Viscoelastic properties of silica-filled styrene-butadiene rubber under uniaxial tension', *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 46, No. 4, 2010, pp. 375–386.
- Aniskevich K., Starkova O., Jansons J., and Aniskevich A. Deformational properties of silica filled styrene-butadiene rubber under uniaxial tension// for book "Rubber: Types, Properties and Uses", Edited by G.A. Popa, Novapublishers. In press.
- Анискевич К., Гласкова Т., Анискевич А., Файтельсон Е. Влияние влаги на вязкоупругие свойства глинодержащего нанокompозита на основе эпоксидного связующего// *Механика композит. материалов*, 2010. In press.

Galvenie rezultāti ir apspriesti konferencēs:

- Vidinejevs, S., Aniskevich, A., Gregor, A., and Kers, J. 'Manual healing of cracks in epoxy matrix.' *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials (MCM-2010)*. Riga, Latvia, May 24 – 28, 2010, p. 204.
- Glaskova, T., Aniskevich, K., Aniskevich, A. 'Creep behavior of epoxy/clay nanocomposite.' *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials*, May 24-28, 2010, Riga, Latvia, p. 71.
- Glaskova, T., Borisova, A., Trinkler, L., Berzina, B., Aniskevich, A., Timchenko, K. 'Dispersion characterization of multiwall carbon nanotubes for polymer nanocomposites.' *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials*, May 24-28, 2010, Riga, Latvia, p. 72.
- Aniskevich, K., Starkova, O., and Aniskevich, A. 'Viscoelastic properties of silica filled styrene-butadiene rubber under uniaxial tension.' *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials*, May 24-28, 2010, Riga, Latvia, p. 38.
- Shilko, S. V., Chernous, D. A., Charkovsky, A. V., and Aniskevich, A. 'Method of strain and strength analysis of tricot matrix materials', *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials*, May 24-28, 2010, Riga, Latvia, p. 179.
- Tarasovs, S., Aniskevich, A., and Gregor, A. 'Effective properties of the composite filled with microcapsules', *Book of Abstracts 16th International Conference Mechanics of Composite Materials*, May 24-28, 2010, Riga, Latvia, p. 194.
- Aniskevich, A. N., Guedes, R. M. 'Viscoelastic stress analysis and creep behaviour of epoxy resin in variable humid environment', *14th European conference on composite materials (ECCM-14)*, 7-10 June 2010, Budapest, Hungary. Paper ID: 601-ECCM14.
- Glaskova, T., Aniskevich, A., Giordano, M., Zarrelli, M., 'Quantitative optical analysis of filler dispersion degree in nanocomposite', *14th European conference on composite materials (ECCM-14)*, 7-10 June 2010, Budapest, Hungary. Paper ID: 646-ECCM14.
- Gregor, A., Aniskevich, A., Sjöberg, M., Picot, A., Vidineev, S., 'Self- healing and damage indicating composites using microcapsules approach', *14th European conference on composite materials (ECCM-14)*, 7-10 June 2010, Budapest, Hungary. Paper ID: 725-ECCM14.
- Aniskevich, A. N., Guedes, R. M. 'Viscoelastic stress analysis and creep behaviour of epoxy resin in variable humid environment', *Conference on Continuum Physics and Engineering Applications (CPEA'10)*, 29 May-7 June 2010, Rackeve, Hungary. p. 32.
- Aniskevich, A. N., Guedes, R. M. 'Creep behaviour of epoxy resin in variable humid environment: viscoelastic numerical and analytical solutions', *9th International Conference on Durability Analysis of Composite Systems, DURACOSYS – 2010*, September 12-15, 2010, Patras (Greece).
- Starkova, O., Papanicolaou, G. C., Xepapadaki, A. G., Aniskevich, A., 'Temperature-independent energy threshold of linear-nonlinear viscoelastic transition by example of uniaxial creep of epoxy resin', *9th International Conference on Durability Analysis of Composite Systems, DURACOSYS – 2010*, September 12-15, 2010, Patras (Greece).
- Vidinejevs, S., Aniskevich, A., Gregor, A., Sjöberg, M., and Picot, A., 'Manual healing and damage sensitive coatings towards bio-inspired solutions in epoxy based composites using microcapsules approach', *9th International Conference on Durability Analysis of Composite Systems, DURACOSYS – 2010*, September 12-15, 2010, Patras (Greece).
- Borisova A., Glaskova T., Aniskevich A., Trinkler L., Berzina B. 'The method for determination of filler dispersion degree in polymer nanocomposite'. *Baltic Polymer Symposium BPS-2010*, September 8-11, 2010, Palanga, Lithuania.
- Kazina, E., Starkova, O., and Aniskevich, A. 'Volume changes in filled rubber under uniaxial cyclic loading.' *Baltic Polymer Symposium BPS-2010*, September 08-11, 2010, Palanga, Lithuania.
- Polyakov, V., Chatys, R., 'Acoustical transmittivity of transversally isotropic spherical shell under internal vibratory excitation'; Abstract XIVth International Conference on "Mechanics of Composite Materials-MCM'2010", Riga, Latvia, 24-28.05.2010 – pp. 159.
- Pavelko, I., Pavelko, V., Chatys, R., Smolyaninov, M., 'Impact damage of long-fibre composite and its detecting.' Abstract XIVth International Conference on "Mechanics of Composite Materials - MCM'2010", Riga, Latvia, 24 - 28.05.2010 – pp.154.
- 18. Orman, J., Chatys, R., 'The impact of geometrical parameters of heat transfer enhancing microstructures on boiling heat transfer.' Abstract XIVth International Conference on "Mechanics of Composite Materials-MCM'2010", Riga, Latvia, 24-28.05.2010 – pp. 146.
- 19. Blumbergs, I., Chatys, R., Kleinhofs, M., 'Experimental Research of Carbon Fiber Composite Material Model Characteristics.' IVth International Conference on "Scientific Aspects of Unmanned Aerial Vehicle", Suchedniów/k.Kielc, Poland, 5 – 7.may 2010 – CD ISBN, file .

Summary.

Project activity No 3.

The particle-reinforced composites, particularly nanocomposites, have been increasingly investigated over the past few decades, mainly focusing on their development and structure-property relationships. The nanocomposites exhibit markedly improved thermal, mechanical, and physico-chemical properties compared with the bulk polymer or conventional composites. Due to extending the use of nanoparticle-reinforced polymers in many engineering components and structures, their long-term mechanical properties and dimensional stability during service life are of great practical importance. Since the polymer matrix is of viscoelastic nature, nanocomposites exhibit time-dependent behaviour which is influenced by environmental variations. In particular, exposure to moisture can significantly alter their properties because of plasticization and ageing effects. A combination of viscoelastic and environmental effects may reduce the durability of structural components.

While the majority of current experimental studies on nanocomposites concern the mechanical properties, such as strength, stiffness, and toughness, a limited amount of papers is dedicated to investigation of viscoelastic response of these materials. In addition, most of the properties are commonly determined for nanocomposites in their initial state, while the environmental effects are not considered adequately. Basic understandings on the durability aspects of nanocomposites, accompanied by adequate predictive methodologies, are still of great interest and importance. The present project is mainly focused on the investigation of time-dependent response, and the characterization of moisture sorption behaviour and its influence on mechanical properties of particle-reinforced polymers.

During the first year, the following activities were realized: epoxy/carbon nanotube nanocomposites were prepared and preliminary investigations on their viscoelastic and sorption properties were done; the effect of moisture was comprehensively investigated on the structure, elastic and viscoelastic properties of epoxy/montmorillonite nanocomposites; deformational behaviour of silica-filled elastomer under various loading conditions was examined experimentally and described by empirical models; a new methodology for determination of time- and temperature-dependences of stress threshold of linear-nonlinear viscoelastic transition was suggested and approved by example of epoxy resin; microcapsules approach for development of multifunctional particle-reinforced composites with self-healing properties was examined; a methodology for manufacturing of fiber-reinforced composites by the vacuum assisted resin transfer moulding (VARTM) technique was elaborated and

approved on the technical basis of IPM.

The main results are published in 7 journal papers (2 of them are in press), 1 conference proceedings and 1 book chapter, as well as discussed in 19 conference presentations.



Kontakinformācija:

Latvijas Universitātes aģentūra „Latvijas Universitātes Polimēru mehānikas institūts”
Aizkraukles iela 23, Rīga, LV – 1006
Tālrunis +371 67551145
Fakss +371 67820467
www.pmi.lv

Contact information:

University of Latvia Agency “Institute of Polymer Mechanics of the University of Latvia”
Aizkraukles iela 23, Rīga, LV-1006
Telephone +371 67551145
Facsimile +371 67820467
www.pmi.lv