

2. SADAĻA – INFORMĀCIJA PAR PROGRAMMAS PROJEKTIEM

2.1. Projekts Nr. 3

Nosaukums

Risku ievērtēšana drošām, efektīvām un ilgtspējīgām būvēm

vārds, uzvārds,
zinātniskais grāds
Institūcija
ieņemamais amats
Kontakti

Ainārs Paeglītis	
Dr.sc.ing.	
Rīgas Tehniskā universitāte	
Profesors	
<i>Tālrunis</i>	+371 29269448
<i>E-pasts</i>	ainars.paeglitis@rtu.lv

2.2. Projekta Nr. 3 mērķi

(Norāda projekta mērķi (saskaņā ar apstiprināto projekta pieteikumu un līgumu) un informāciju par mērķa sasniegšanu/izpildi

1. projekta mērķis: *Izstrādāt jaunas metodes riska izvērtēšanai būvēm un konstrukcijām, lai nodrošinātu to drošu, efektīvu un ilgtspējīgu ekspluatāciju*

3. projekta 1.uzdevums: Izpētīt Latvijas autoceļu tiltu dinamiskos raksturojumus un noskaidrot to ietekmi uz konstrukciju drošumu, izstrādāt konstrukciju risku, drošuma un robustuma noteikšanas metodes.

1. posma 1.1. uzdevums: Transportlīdzekļa un brauktuves konstrukcijas mijiedarbības izpēte.

Lai realizētu definēto uzdevumu, uzsākta transportlīdzekļa un brauktuves konstrukcijas mijiedarbības izpēte, matemātiskās metodes izstrāde tilta dinamisko raksturojumu pētīšanai. Pirmajā posmā ir apkopi un analizēti dati par konstrukciju dinamiskuma koeficientiem, kā arī iesniegt 1 publikācija

1.posma 1.2. uzdevums: Satiksmes slodzes iedarbības uz tiltu konstrukcijām analīze.

Analizēta satiksmes slodzes iedarbību uz tiltu konstrukcijām. Tai skaitā dažādi teorētiskie slodzes varbūtību sadalījuma modeļi, kas ir piemērojami šo ietekmju aproksimācijai. 2014.gadā tika pētīti nelabvēlīgākie satiksmes slodžu scenāriji, izmantojot WIM datus. (sagatavot vienu publikāciju).

Satiksmes slodze uz tiltu rada ne tikai statisku, bet arī dinamisku slodzi, kas ietekmē konstrukcijas veiktspēju. Tilta dinamiskie raksturlielumi ir – pašsvārstību frekvence, logaritmiskais dekrement (raksturo svārstību rimšanu konstrukcijā) un dinamiskuma koeficients (Dynamic Amplification Factor). Dinamiskuma koeficients ir visplašāk izmantotais raksturlielums, jo tas parāda attiecību starp statiskās un dinamiskās slodzes iedarbību.

Eirokodekss EN 1991-2:2003 „Iedarbes uz konstrukcijām. Satiksmes slodzes tiltiem” aprēķina slodzē iekļauj dinamiskuma koeficientu, kas ir atkarīgs no tilta laiduma garuma un ietekmes līnijas.

Valsts pētniecības projekta 3 projekta ietvaros 2014. gadā bija paredzēts analizēt satiksmes slodzes iedarbību uz tilta konstrukcijām, dažādus teorētiskos varbūtību sadalījuma modeļus. Kā arī izstrādāt iedarbju savstarpējās kombinēšanās

prognozēšanas metodi. Triju mēnešu laikā 2014. gadā no datiem par Latvijas satiksmi aprēķinājām slodzes gara laiduma tiltiem un iesākām pētniecību pie weigh-in-motion (WIM) sistēmu datu tīrīšanas metodēm, kā arī apspriedām idejas nākamajos gados paredzēto uzdevumu izpildei.

Pētījumu rezultāti ir apkopoti šādās publikācijās un rakstos, kas iesniegti publicēšanai, vai jau publicēti:

1. Paeglite I., Paeglītis A., Smirnovs J. (2015) The Dynamic Amplification Factor for bridges with span length from 10 to 35 meters. // Journal Engineering Structures and Technologies, 2015, pp.1-8 10.3846/2029882X.2014.996254
2. Paeglite I., Paeglītis A. (2014) Dynamic Amplification factors of some city bridges, ICSCE 2014: XII International Conference on Structural and Construction Engineering, London, United Kingdom, 22-23 December 2014.
3. Freimanis, A., Paeglītis A. (2015) Modeling of traffic loads for bridge spans from 200 to 600 meters.// *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 10 (3)

Populārzinātniskas publikācijas:

1. Paeglītis, A. (2015) “Saspriegta stīgbetona siju tilta nestspējas izpēte”// Būvinženietris, 2015. gada februāris Nr.42, 102-108.lpp.

Projekta Nr.3 ietvaros ir vadīti un aizstāvēti 3 bakalaura darbi :

1. R.Ruža “Stīgbetona siju nestspējas izpēte” (vad. Prof. A.Paeglītis);
2. R.Martinsons “Ilgspējīgas koka tiltu laiduma konstrukcijas” (vad. Prof. A.Paeglītis);
3. M.Jansons “Ceļa zīmju un apzīmējumu izmantošanas efektivitātes analīze” (vad. Prof. J.Smirnovs).

Projektā strādā 1.kursa doktorants Andris Freimanis un 2. kursa doktorante Ilze Paeglīte. Ilzes Paeglītes promocijas darba tēma ir “Kustīgās slodzes iedarbība uz tiltu dinamiskajā īpašībām”, zinātniskais vadītājs – profesors Dr.sc.ing. Juris Smirnovs, aizstāvēšana paredzēta 2017. gadā. Andra Freimaņa promocijas darba tēma ir „Risku ievērtēšana drošām, efektīvām un ilgtspējīgām tiltu būvēm”, zinātniskais vadītājs – profesors Dr.sc.ing. Ainārs Paeglītis, aizstāvēšana paredzēta 2018. gadā.

3. projekta 2. uzdevums: izstrādāt metodoloģiju konstruktīvo elementu bojājumu vai ar bojājumu (dažādu veidu materiāla degradācijas formas) dinamisko parametru (svārstību frekvenču, svārstību modu, svārstību dzišanas parametru, utt.) eksperimentālai noteikšanai un to pielietošanai konstrukciju tehniskā stāvokļa monitoringam

1.posma 1.uzdevums: Konstrukciju elementu bojājuma zonas lieluma un vietas lokalizācijas noteikšanas metožu izpēte.

Civilo, militāro un avio kosmisko konstrukciju tehniskā stāvokļa monitorings un bojājumu identifikācija ir kļuvuši par vienu no svarīgākajiem aspektiem konstrukciju drošības un stiprības nodrošināšanai ekspluatācijas laikā. Jaunas efektīvas identifikācijas metodes un risinājumi bojājumu noteikšanai agrīnajā stadijā ir plaši pētīta tēma dažādās inženierzinātņu nozarēs. Pateicoties svārstību eksperimentu vienkāršai veikšanai, pēdējās desmitgadēs jaunu svārstību metožu izstrāde bojājumu identifikācijai ir izraisījusi palielinātu interesi. Šo metožu pamatideja ir tāda, ka

bojājums kā dažādu veidu materiāla sagrūšanas formu kombinācija izraisa konstrukcijas stinguma samazināšanos, un tādejādi ietekmē tās dinamiskos raksturlielumus, tādus kā svārstību frekvences, svārstību formas un svārstību dzišanas koeficienti. Sekojoši šīs izmaiņas svārstību raksturlielumus var tik izmantotas bojājumu identifikācijai. 1.posma pētījumos eksperimentālās sijas tipa konstrukciju pašsvārstību frekvences un atbilstošās šo frekvenču svārstību formas tiks iegūtas, izmantojot POLYTEC bez-kontakta lāzera vibrometrijas iekārtu. Iegūtie dinamiskie raksturlielumi, izmantojot atbilstošas signāla apstrādes metodes, tika izmantoti konstruktīvo elementu bojājumu raksturlielumu (vietas lokalizācija, zonas lielums) identifikācijai.

Pētījumu rezultāti ir apkopoti tēzes, kas iesniegtas dalībai sekojošās konferencēs:

1. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in beam structure using spatial continuous wavelet transform* dalībai IMST 2015 - 2nd International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies”, 30. septembris – 2. oktobris, 2015, Rīga, Latvija;
2. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in beam structure using mode shape data: from spatial continuous wavelet transform to mode shape curvature methods* dalībai ICoEV 2015 - IFTOMM International Conference on Engineering Vibration 2015, 7.-10. septembris, Ļubļana, Slovēnija;
3. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in polymer composite beams using spatial continuous wavelet transform* dalībai BPS 2015 – Baltic Polymer Symposium 2015, 16.-18. Septembris, Sigulda, Latvija.

Sagatavotas publikācijas konferenču rakstu krājumiem:

1. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in beam structure using spatial continuous wavelet transform*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering;
2. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in beam structure using mode shape data: from spatial continuous wavelet transform to mode shape curvature methods*, International Journal of Mechanical Sciences;
3. R. Janeliukstis, S. Rucevskis, M. Wesolowski, A. Kovalovs, A. Chate, *Damage identification in polymer composite beams using spatial continuous wavelet transform*, *Key Engineering Materials*.

Projektā strādā doktorants Rims Janeliukstis. Viņa promocijas darba tēma ir „Bojājumu identifikācijas metožu izstrāde konstrukciju tehniskā stāvokļa monitoringam”, zinātniskais vadītājs – profesors Dr.sc.ing. Andris Čate, aizstāvēšanās paredzēta 2018. gadā.

3. projekta 3. uzdevums: Izstrādāt inovatīvas viedas konstrukcijas ar uzsvāru uz atjaunojamo dabas resursu izmantošanu ar paaugstinātu ilgtspējību un drošumu, kas ir vērstas uz būvniecības un infrastruktūras objektiem.

1.posma 3.uzdevums: Konstrukcijas no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes aprēķina metodikas izstrāde.

Pirmajā projekta posmā apkopoti dati liekto un spiesti-liekto nesošo elementu no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes metodikas izstrādei. Apskatāmās metodikas pamatā ir LVS EN 1995-1-1, efektīga stiprības un stinguma metode un reducēto

šķērsriezuma metode. Efektīga stiprības un stinguma, un reducēto šķērsriezuma metodes tiek salīdzinātas eksperimentāli un analītiski. Apskatītais panelis no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes tiek aprēķināts izmantojot GEM, kas tiek realizēts ar programmām REFM 5.0 un ANSYS v14. Konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti ar efektīga stiprības un stinguma metodi un reducēto šķērsriezuma metodi un rezultātiem, kas iegūti izmantojot GEM un eksperimentāli iegūtiem rezultātiem nepārsniedz 20%.

Pirmajā projekta posmā uzsākta līmētas koksnes kompozīta daudzstāvu ēkas racionālas konstrukcijas izpēte. Tiek veikta trīsstāvu vieglā koka karkasa ēkas nesošo elementu darbības analīze izmantojot LVS EN 1995-1-1 aprēķina metodiku. Tiek apskatīta daudzstāvu koka karkasa ēkas stinguma analīzes metodikas šķērsnesošo sienu diafragmu pielietošanas gadījumā. Tiek izstrādāts analītisks šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modelis izmantojot GEM, kas tiek realizēts ar programmu ANSYS v15. Balstoties uz iegūtajiem šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa aprēķina rezultātiem, tiek izveidots trīsstāvu koka karkasa ēkas vienkāršots telpiskais modelis datorprogrammā Robot Structural Analysis 2015. Ēka tiek slogota ar pašsvara un klimatiskajām slodzēm atbilstoši Latvijas apstākļiem. Izstrādātais analītiskais šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modeli paredzēts izmantot līmētas koksnes kompozīta daudzstāvu ēkas racionālas konstrukcijas pētījumos.

Par iegūtajiem rezultātiem ziņots starptautiskā zinātniskā konferencē “International Scientific Conference - Urban Civil Engineering and Municipal Facilities” (SPbUCEMF 2015, 18.03.15. – 20.03.15., Sanktpēterburgs, Krievija) ar ziņojumu “Design Methods of Elements from Cross-Laminated Timber Subjected to Flexure” (A.Vilguts, D.Serdjuks, L.Pakrastins).

Pētījumu rezultāti ir apkopoti šādos rakstos, kas ir pieņemti vai sagatavoti publicēšanai 1. posmā gaitā:

1. A.Vilguts, D.Serdjuks, L.Pakrastins “Design Methods of Elements from Cross-Laminated Timber Subjected to Flexure”. Raksts pieņemts publicēšanai starptautiskas konferences “International Scientific Conference - Urban Civil Engineering and Municipal Facilities”, 2015, 18.03.15. – 20.03.15., Sanktpēterburga, Krievija.
2. A.Stuklis, D.Serdjuks, V.Goremikins „Materials Consumption Decrease for Long-span Prestressed Cable Roof”. Raksts iesniegts publicēšanai 10. starptautiskās zinātniski praktiskās konferences „Vide. Tehnoloģija. Resursi” (Rēzeknes Augstskola, Rēzekne, Latvija, 2015. gada 18. – 20. jūnijs) rakstu krājumā.
3. A.Vilguts, D.Serdjuks, V.Goremikins “Design Methods for Load-bearing Elements from Cross-laminated Timber”, 2nd International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies”, 30. septembris – 2. oktobris, 2015, Rīga, Latvija;
4. A. Hirkovskis, D.Serdjuks, V.Goremikins, L.Pakrastins, N.I.Vatin, “Behaviour analysis of load-bearing aluminium members”Инженерно-строительный журнал”, 5 (57), 2015.

Pirmajā projekta posmā izstrādāts un aizstāvēts (20.01.15.) maģistra darbs:

1. Inese Virbule, „Trīsstāvu koka karkasa ēkas nesošo elementu darbības analīze” (vadītājs Dr.sc.ing. prof. D.Serdjuks).

Pirmajā projekta posmā uzsākta šādu maģistra darbu izstrādāšana (maģistra darbi paredzēti aizstāvēšanai 11.06.15.):

1. Kristaps Freimanis, „Nesošo elementu no Z profiliem darbības analīze” (vadītājs Dr.sc.ing. prof. D.Serdjuks).

2. Jāna Juričuka, „Krustiski līmētas koksnes nesošo elementu darbības analizē” (vadītājs Dr.sc.ing. prof. D.Serdjuks).
3. Jānis Mūrnieks, „Koka pārseguma nestspējas palielinājuma analīze” (vadītāji Dr.sc.ing. prof. D.Serdjuks, M sc.ing. asist. A. Kukule)
4. Tatjana Saknite, „Lokveida koka pārseguma ugunsizturības analīze” (vadītājs Dr.sc.ing. prof. D.Serdjuks).

Projektā strādā 1. kursa doktorants Aivars Vilguts. Viņa promocijas darba tēma ir „Kārtaini līmētas koksnes kompozīta daudzstāvu ēkas racionālas konstrukcijas”, zinātniskais vadītājs – profesors Dr.sc.ing. Dmitrijs Serdjuks, aizstāvēšana paredzēta 2018. gadā.

Privātā sektora līdzfinansējums un ieņēmumi no līgumdarbiem, kas balstās uz 3.projektā ietvaros radītajiem rezultātiem 1.posmā sasniedz 17000 Eur.

Noslēgtie līgumdarbi 01.07.2014 -31.03.2015

Nr	RTU Nr.	Vadītājs	Nosaukums	Pasūtītājs	Līgumcena EUR (iesk.PVN)	Darbības laiks
1.	L8063	S.Ručevskis	Transformatora 330kV izvada un 330kV kabeļa savienojuma drošības vārsta aprēķini	SIA Energoremonts	2000	25.08.14 - 08.09.14
2.	L8071	A.Čate	Iepriekš saspriegto dzelzbetona konstruktīvo elementu iepriekšējā sasprieguma zuduma novērtēšana,izmantojot konstrukcijas dinamiskos parametrus	SIA Sweco Structures Latvija	15000	22.09.14 - 22.09.15
					17000	

2.3. Projekta Nr. 3 uzdevumi

(Norāda projekta pārskata periodā plānotās darbības un galvenos rezultātus. Kopējais saturiskais izklāsts nepārsniedz divas A4 lapas)

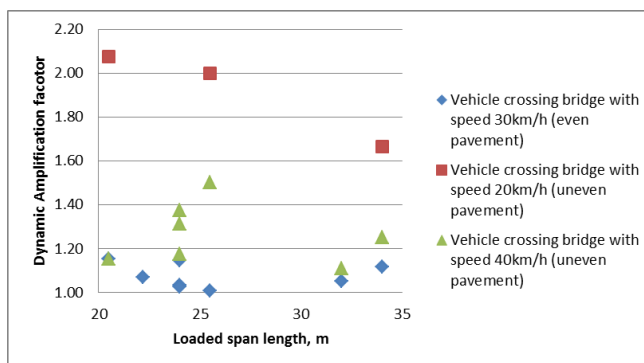
Darba uzdevumi	Galvenie rezultāti
1.1. Transportlīdzekļa un brauktuves konstrukcijas mijiedarbības izpēte.	Analizēta dinamiskuma koeficienta vērtība atkarība no tilta veida, garuma, braucošās automašīnas ātruma, tilta seguma kvalitātes un tilta sistēmas.
1.2. Satiksmes slodzes iedarbības uz tiltu konstrukcijām analīze.	Iegūti nelabvēlīgākie satiksmes slodžu scenāriji, izmantojot WIM datus. Iesniegta publikācija žurnālā
Atskaites periodā veikta tiltu dinamisko raksturojumu analīze, kas iegūti 20 gadu periodā, veicot tiltu sloģošanu ar dinamisku slodzi. Satiksmes slodze uz tiltu rada ne tikai statisku, bet arī dinamisku iedarbi, kas ietekmē konstrukcijas veiktspēju. Tiltu dinamiskie raksturlielumi ir – pašsvārstību frekvence, logaritmiskais dekrementis (raksturo svārstību rimšanu konstrukcijā) un dinamiskuma koeficients (Dynamic	

Amplification Factor). Dinamiskuma koeficients ir visplašāk izmantotais raksturlielums, jo tas parāda attiecību starp statiskās un dinamiskās slodzes iedarbību.

Eirokodekss EN 1991-2:2003 „Iedarbes uz konstrukcijām. Satiksmes slodzes tiltiem.” aprēķina slodzē iekļauj dinamiskuma koeficientu, kas ir atkarīgs no tilta laiduma garuma un ietekmes līnijas.

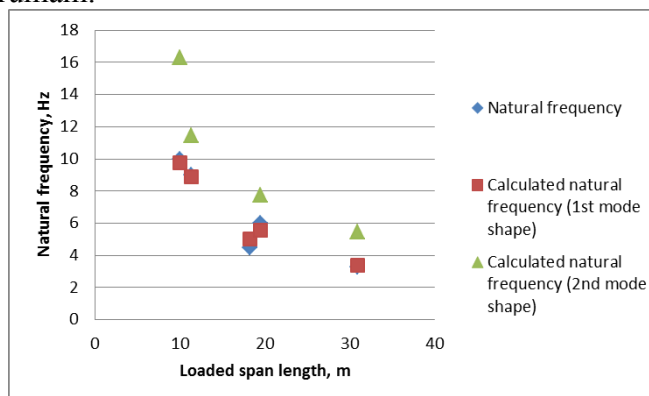
Rezultāti:

1. Dinamiskuma koeficients ir atkarīgs no autoceļa seguma līdzenuma un automašīnas braukšanas ātruma.
2. Automašīnai braucot pa nelīdzenu brauktuves segumu ar 20km/h dinamiskuma koeficients pieauga līdz 1,5 reizēm.
3. Automašīnai pārvietojoties pa līdzenu brauktuves segumu, dinamiskuma koeficients nepārsniedz Eirokodeksā paredzēto vērtību 1,4.
4. Saspringtas konstrukcijas dzelzsbetona tiltiem DAF vērtības samazinās palielinoties laiduma garumam braucot ar ātrumu 20km/h pa nelīdzenu brauktuvi.



1. attēls. Dinamiskuma koeficienta atkarība no slogotā laiduma garuma.

5. Dzelzsbetona plātņu tiltiem pašsvārstību frekvence samazinās, palielinoties laiduma garumam.



2. attēls. Pašsvārstību frekvence atkarībā no laiduma garuma.

Valsts pētniecības projekta 3.3.2. uzdevuma „Izstrādāt konstrukciju risku, drošuma un robustuma noteikšanas metodes” ietvaros 2014. gadā bija paredzēts analizēt satiksmes slodzes iedarbību uz tilta konstrukcijām, dažādus teorētiskos varbūtību sadalījuma modeļus. Kā arī izstrādāt iedarbju savstarpējās kombinēšanās prognozēšanas metodi. Triju mēnešu laikā 2014. gadā no datiem par Latvijas satiksmi aprēķinājām slodzes gara laiduma tiltiem un iesākām pētniecību pie weigh-in-motion (WIM) sistēmu datu tīrīšanas metodēm, kā arī apspriedām idejas nākamajos gados

paredzēto uzdevumu izpildei.

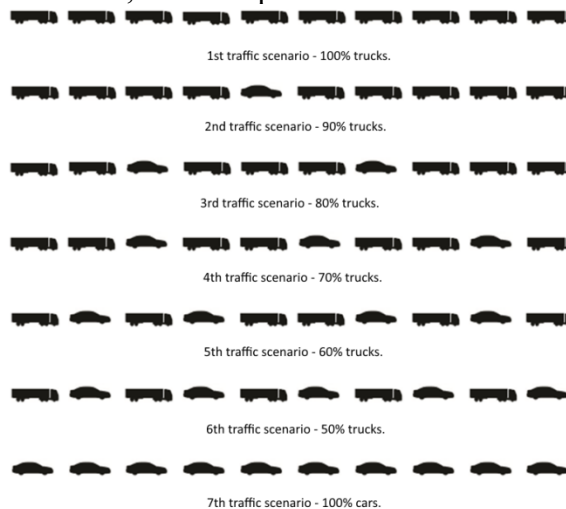
Gara laiduma tiltu slodžu aprēķinam izmantojām WIM sistēmu datus, ko ieguvām no mūsu sadarbības partnera VAS „Latvijas Valsts ceļi”. Šos datus iztīrījām no kļūdainiem ierakstiem, ievērtējām temperatūras ietekmi uz transportlīdzekļu svāriem un pielietojām vispārīgus filtrus visām automašīnām un specifiskus – konkrētām transportlīdzekļu klasēm. Šī tīrīšanas metode saglabāja aptuveni 63% datu pēc visiem tīrīšanas soļiem.

Tad, lai labāk simulētu dažādas satiksmes plūsmas, izveidojām 7 dažādas satiksmes scenārijus, tie parādīti 3. attēlā. Balstoties uz šiem scenārijiem simulējām satiksmes slodzes no 200 līdz 600 metru garu tiltu visnoslogotākajai joslai. Aprēķins, parādīts 2. attēlā, tika veikts sekojoši:

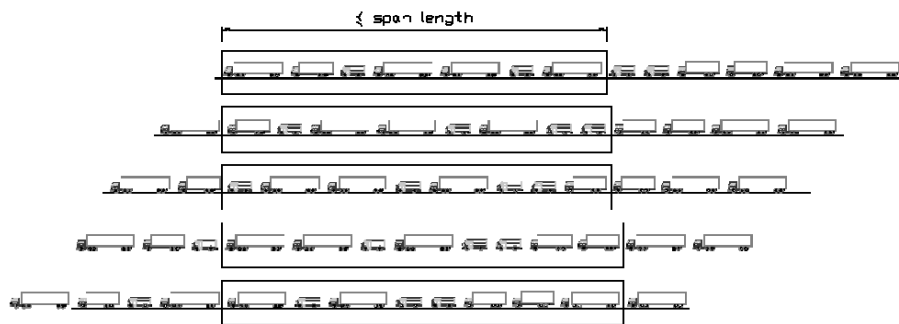
1. Pieņēmām, ka sastrēguma situācijā, kas ir nelabvēlīgākā šādiem laidumiem, attālums starp divu automašīnu pēdējo un pirmo asi ir 5 m;
2. Transportlīdzekļus sadalījām joslās atbilstoši satiksmes scenārijiem un visas vienas joslas automašīnas nostādījām vienā garā rindā;
3. Pie pirmā transportlīdzekļa skaitījām klāt katra nākamā garumu un atstarpi starp tiem līdz sasniedzām izvēlēto laiduma garumu, piemēram 400 m, uzskatīja, ka šīs mašīnas atrodas „uz laiduma”;
4. Tad šo mašīnu kopējo masu izdalīja ar laiduma garumu un ieguva izkliedēto slodzi;
5. Aprēķinu atkārtoja līdz visa mašīnu rinda bija „pārbīdīta” pāri laidumam, tad izvēlējās katras dienas lielāko slodzi. Šādu aprēķinu veica katras joslas, laiduma un satiksmes scenārija gadījumam;
6. Augstākajiem 30% slodžu atrada atbilstošākos Gumbela sadalījuma parametrus un ar to palīdzību slodzes ekstrapolēja līdz 1. Eirokodeksā paredzētajai pārsniegšanas varbūtībai – 5% 50 gadu laikā.

Iegūtie rezultāti no autoceļa A1 ir parādīti 4. attēlā. Šie rezultāti rāda, ka pat pie visnelabvēlīgākajiem scenārijiem satiksmes slodzes, kas paredzētas standartos, ir lielākas par tām, kādas rodas tiltiem no Latvijas satiksmes.

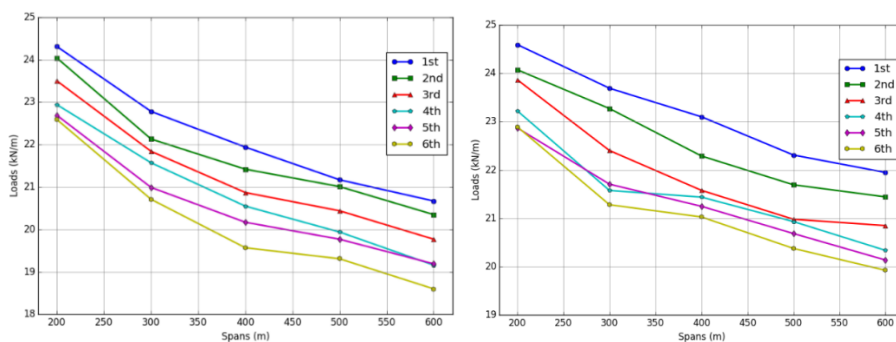
Šā pētījuma ietvaros nonācām pie secinājuma, ka esošie slodžu modeļi rada papildu drošību gara laiduma tiltos un šī drošība palielinās, palielinoties tilta laiduma garumam. Uzzinājām, ka esošās datu tīrīšanas metodes ir pārāk izšķērdīgas, tādēļ nolēmām izstrādāt jaunu metodi, kas būtu piemērotāka mazākam datu daudzumam.



3.att. Septiņi izstrādātie satiksmes scenāriji.



4. att. Aprēķinā izmantotā transportlīdzekļu rinda un „laidums”.



5. att. Autoceļa A1 rezultāti rāda, ka standartos paredzētās slodzes ir pietiekami drošas Latvijas satiksmei.

2. Konstruktīvu elementu bojājuma zonas vietas lokalizācijas noteikšanas metožu izpēte

Metode sijas tipa konstruktīvu elementu ekspluatācijas laikā radušos bojājumu lokalizācijai. Sagatavota publikācija iesniegšanai konferencē

Pārskata periodā tika veikti pētījumi sijas tipa konstrukciju dinamisko parametru (svārstību frekvenču, svārstību modu, svārstību dzišanas parametru, utt.) eksperimentālai noteikšanai un to pielietošanai konstrukciju tehniskā stāvokļa monitoringam. Iegūtie dinamiskie raksturlielumi, izmantojot atbilstošas signāla apstrādes metodes, tika izmantoti konstruktīvu elementu bojājumu raksturlielumu (vietas lokalizācija, zonas lielums) identifikācijai. Šīs problēmas risinājumam tiek piedāvāts izmantot veivletu transformācijas (VT) metodi. Tas ir matemātisks pārveidojums, ar kuru tiek noteikta korelācija starp pētāmo signālu un, tā saukto, veivletu funkciju. Korelācijas rezultātā tiek iegūti lielas vērtības transformācijas koeficienti. Lielākie pīķi VT atkarības grafikā no konstrukcijas koordinātes norāda vietu, kur ir lokalizēts bojājums. Lielākai rezultātu ticamībai tika izvērtēts liels daudzums dažādu veivletu funkciju pie dažādas vērtības mēroga parametriem.

Identificējot bojājumu, VT tika salīdzināta ar svārstību formu liekuma kvadrātu (SFLK) metodi, kura pamatojas uz to, ka veselas konstrukcijas svārstību formu liekumam ir gluda virsma, kas tiek iegūta no bojātas konstrukcijas svārstību formu liekuma aproksimācijas ar Furjē funkciju. Bojājuma identifikācija tika raksturota ar bojājuma indeksu (BI), kas VT gadījumā ir vienāds ar VT koeficientu vērtību, bet SFLK gadījumā – ar absolūto starpību starp bojātas konstrukcijas svārstību formas liekuma kvadrātu un bojātas konstrukcijas svārstību formu liekuma aproksimācijas ar Furjē funkciju kvadrātu. BI vērtības tika aprēķinātas katrai svārstību formai, šis rezultāts tika normēts un saskaitīts pa visām svārstību formām. Izmantojot statistikas hipotēzes koncepciju, tika aprēķināts standartizētais bojājuma indekss (SBI) ar mērķi atfiltrēt tās SDI vērtības, kas neatbilst bojātai konstrukcijas vietai. Tika aprēķināts

lielums, ko sauc par bojājumu noteikšanas paļāvību (BNP), kas apzīmē SBI amplitūdas bojājumu vietā dalījumu ar summāro amplitūdu pa visām apskatītās koordinātes vērtībām un tiek izteikts procentos. Izmantojot VT metodi, nepieciešams veikt visu apskatāmo veivleta funkciju mēroga parametru analīzi, tas ir, noteikt, pie kura mēroga parametra iegūstami vislabākie bojājuma noteikšanas rezultāti. Tādējādi tika uzņemtas BNP atkarības no veivleta funkciju mēroga parametra (vesels, reāls skaitlis) līknes. Piedevām tika apskatīts, kā BNP vērtības mainās atkarībā no tā, cik daudz izmērīto svārstību formu datu punktu tiek izmantots aprēķinā, lai būtu iespējams aptuveni novērtēt blīvumu sensoriem, kurus varētu integrēt konstrukcijā reālā situācijā.

Tika veiktas skaitliskās simulācijas, kurās svārstību formām mākslīgi tika pielikti dažādi trokšņa līmeņi, lai pārbaudītu metodes jutību attiecībā pret eksperimentālajiem svārstību formu datiem, kas jau dabiski satur kādu troksni.

VT un SFLK metožu efektivitāte bojājumu noteikšanai tika pārbaudītas uz sekojošiem paraugiem:

1. uz divām atšķirīga garuma alumīnija sijām, kas satur vienu bojājumu,
2. uz divām tādām pašām atšķirīga garuma alumīnija sijām, kas satur divus bojājumus,
3. uz divām atšķirīga garuma polimēra kompozīta sijām, kas satur vienu bojājumu.

Bojātas konstrukcijas svārstību formu skaitliskā simulācija tika veikta, izmantojot galīgo elementu programmu ANSYS, ar kuru tika ievērtēti siju ģeometriskie izmēri, materiālu īpašības. Bojājums tika simulēts, samazinot sijas biežumu bojājumam paredzētajā vietā. Visi aprēķini, tajā skaitā, bojājuma indekss, tā standartizācija, bojājuma noteikšanas paļāvība u.c. abām metodēm tika aprēķināti, izmantojot MATLAB programmatūru.

Otrā pētījumu perioda ietvaros paredzēta sendviča un plātnes tipa konstrukciju dinamisko raksturlielumu eksperimentālās noteikšanas metodikas izstrāde, kā arī atbilstošas bojājumu noteikšanas metodikas izstrāde programmā MATLAB:

1. kompozīta sendviču konfigurācijas sijām;
2. plānots apskatīt trīs sendvič tipa piramidālas konfigurācijas alumīnija un oglekļa kompozīta sijas, kurām ieviests dažāda lieluma bojājums alumīnija elementos.
3. plātnēm;

Plānots izmantot divu dimensiju veivleta transformācijas algoritmu bojājuma noteikšanai pa plātnes garuma (X) un platumā (Y) koordinātēm, iegūstot trīs dimensionālu karti, kur Z ass virzienā ir standartizētais bojājuma indekss, iegūts no veivletu transformācijas koordinātēm.

<p>3. Konstrukcijas no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes aprēķina metodikas izstrāde.</p>	<p>Apkopoti dati liektiem paneļiem no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes aprēķina metodikas izstrādei. Izstrādāts analītisks šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modelis. Iesniegts raksts konferenču raksta krājumam, sagatavots raksts konferenču raksta krājumam</p>
---	--

Lai realizētu 3. projekta 1. posma 3.uzdevumu, tika apkopoti dati liekto un spiesti-liekto nesošo elementu no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes metodikas izstrādei. Apskatītas efektīga stiprības un stinguma metode un reducēto šķērsgriezuma metode. Efektīga stiprības un stinguma, un reducēto šķērsgriezuma

metodes tiek salīdzinātas eksperimentāli un analītiski. Tika apskatīti divi šķērsvirzienā kārtaini līmēti koka paneļi ar izmēriem 2x1 m un kopējo biezumu 95 mm. Ārējo un vidējo dēļu šķērsgriezumi ir 25x50 un 45x195 mm. Ārējos slāņos šķiedras virziens sakrīt ar paneļa garumu. Vidējā slāņa šķiedras tiek orientētas zem 90° pret ārējo slāņu šķiedru virzienu. Slāņi tiek salīmēti kopā ar putupolouretāna līmi zem spiediena 400 kg/m². Paneļu materiāls – stiprības klases C18 priedes koks. Panelis tiek statistiski noslogots ar vienmērīgi izkliedētu pa tā virsmas slodzi ar intensitāti no 1 līdz 7.5 kN/m². Paneļa statistiskā shēma – brīvi balstīta sija ar laidumu 1.9 m. Apskatītais panelis no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes tiek aprēķināts izmantojot GEM, kas tiek realizēts ar programmām REF5.0 un ANSYS v14.

Tiek uzsākta līmētas koksnes kompozīta daudzstāvu ēkas racionālas konstrukcijas izpēte. Tiek veikta trīsstāvu vieglā koka karkasa ēkas nesošo elementu darbības analīze izmantojot LVS EN 1995-1-1 aprēķina metodiku. Tiek apskatīta daudzstāvu koka karkasa ēkas stinguma analīzes metodikas šķērsnesošo sienu diafragmu pielietošanas gadījumā. Sienas pirmatnējā elementa karkass sastāv no stiprības klases C24 priedes koksnes. Karkasa elementu izmēri 70X195 mm un 45X195 mm.

Rezultāti:

1. Konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti ar efektīva stiprības un stinguma metodi un reducēto šķērsgriezuma metodi un rezultātiem, kas iegūti izmantojot GEM un eksperimentāli iegūtiem rezultātiem nepārsniedz 20%. Tas nozīmē, ka reducēto šķērsgriezumu metode ar pietiekamu precizitāti ļauj prognozēt darbību šķērsvirzienā kārtaini līmētiem koka paneļiem statistiska slogojuma gadījumā.
2. Tiek izstrādāts analītisks šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modelis izmantojot programmu ANSYS v15. Izstrādāto analītisku šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modeli paredzēts izmantot līmētas koksnes kompozīta daudzstāvu ēkas racionālas konstrukcijas pētījumos.

Šķērsvirzienā kārtainas līmētais koks ir konstruktīvais materiāls, kas tiek plaši izmantots dažādiem nesošiem elementiem. Šķērsaini līmētais koks tiek izmantots daudzstāvu ēkās, kā nesošais sienas un paneļu materiāls. Automobiļu un kājnieku tiltos šķērsaini līmētās koka plātnes izmanto, kā brauktuves nesošos elementus, kas galvenokārt strādā liecē vai liece kombinācijā ar spiedes spēku. Otrā pētījumu posmā paredzēts:

1. Turpināt reducēto šķērsgriezuma metodes pārbaude, apskatot dažādas liekto un spiesti-liekto elementu statistiskās shēmas. Analizēt ar reducēto šķērsgriezuma metodi darbību šķērsvirzienā kārtaini līmētiem koka paneļiem, kas piekārti četros punktos, kā arī brīvi balstās uz divām malām ar vienmērīgi izkliedētu statistiski pielikto slodzi;
2. Uzsākt pētījumu par viedas konstrukcijas racionālo konstruktīvo risinājumu.

2.4. Projekta Nr. 3 izvirzīto uzdevumu izpildes rezultāti

*(Novērtē, kādā mērā ir sasniegti plānotie mērķi un uzdevumi. Raksturo rezultātu zinātnisko un praktisko nozīmību, kā arī rezultātu praktisko lietojumu (lietišķiem pētījumiem). Raksturo problēmas, to iespējamus risinājumus, turpmākā darba virzienus. **Kopējais saturiskais izklāsts nepārsniedz četras A4 lapas**)*

Atbilstoši 3. Projekta 1.posma uzdevumam 1.1. tika pētīta transportlīdzekļu ietekme uz tilta laiduma konstrukcijām, noteikti dinamiskuma koeficienti. Konstatēts, ka dinamiskuma koeficients ir atkarīgs no autoceļa seguma līdzenuma un automašīnas

braukšanas ātruma. Automašīnai braucot pa nelīdzenu brauktuves segumu ar 20km/h dinamiskuma koeficients pieauga līdz 1,5 reizēm. Automašīnai pārvietojoties pa līdzenu brauktuves segumu, dinamiskuma koeficients nepārsniedz Eirokodeksā paredzēto vērtību 1,4. Saspriegtās konstrukcijas dzelzsbetona tiltiem DAF vērtības samazinās palielinoties laiduma garumam braucot ar ātrumu 20km/h pa nelīdzenu brauktuvi.

Uzdevuma 1.2. ietvaros pētīta satiksmes slodzes iedarbība uz tiltu konstrukcijām, kuru laidums lielāks par 200 m, jo Eirokodeksā paredzētās slodzes attiecas uz laidumiem līdz 200 m. Tā kā drīzumā paredzēts būvēt vanšu tiltu pār Daugavu Jēkabpilī, kura centrālais laidums būs ap 320 m, tad veiktais pētījums attiecas uz slodzes noteikšanu drošai tilta ekspluatācijai. Izmantojot datus par Latvijas satiksmi, aprēķinātas slodzes tiltu laidumiem no 200 līdz 600 m. Konstatēts, ka pat visnelabvēlīgākajiem satiksmes scenārijiem, aprēķinātās slodzes ir zemākas par standartos dotajām un palielinoties slogotajam garumam tās vēl vairāk samazinās. Uzsākta pētniecība par Weigh-in-motion sistēmu datu tīrīšanu, lai iegūtu maksimāli precīzus datus tālākiem aprēķiniem.

Otrajā posmā (2015.gadā), lai sasniegtu izvirzīto mērķi, ir paredzēts veikt divus uzdevumus:

1.1.uzdevumā – turpināt strādāt pie matemātiskās metodes izstrādes tilta dinamisko raksturojumu pētīšanai un raksturīgo vērtību noteikšanai.

1.2.uzdevumā – turpināt strādāt par weigh-in-motion sistēmu datu tīrīšanas, lai iegūtu maksimāli precīzus datus slodžu aprēķiniem.

Atbilstoši projektā izvirzītajam 2. uzdevumam: „Izstrādāt metodoloģiju konstruktīvo elementu bojājumu vai ar bojājumu (dažādu veidu materiāla degradācijas formas) dinamisko parametru (svārstību frekvenču, svārstību modu, svārstību dzišanas parametru, utt.) eksperimentālai noteikšanai un to pielietošanai konstrukciju tehniskā stāvokļa monitoringam” atskaites periodā plānotie mērķi ir sasniegti pilnībā.

Projekta īstenošanas 1. posma ietvaros tika izstrādāta uz svārstībām balstīta bojājumu identifikācijas metode, kas paredzētas praktiskiem pielietojumiem. Ar izstrādāto metodiku ir iespējams noteikt bojājuma vietu, kas nav redzama no ārpusēs, gan homogēniem materiāliem, gan kompozītmateriāliem. Bojājumu noteikšanas indeksi tika izstrādāti gan vienas dimensijas, gan divu dimensiju telpās, tādējādi nodrošinot bojājumu noteikšanu gan sijas tipa, gan plātnes tipa konstrukcijās, un, izmantojot atbilstošu eksperimentālu aparatūru, metodi ir iespējams paplašināt arī uz tādu liela izmēra konstrukciju kā mašīnbūves un avio būves konstruktīvie elementi, utt. bojājumu identifikāciju.

Savukārt 2. posma uzdevums ir „Bojājuma zonas konfigurācijas un vietas lokalizācijas noteikšanas metodes izpēte”, kas tiešā mērā ir saistīts ar pirmā posmā uzsāktajiem pētījumiem. Kā otrā posma rezultāts tiek definēts iesniegts raksts konferencē.

Otrā pētījumu perioda ietvaros paredzēta sendviča un plātnes tipa konstrukciju dinamisko raksturlielumu eksperimentālās noteikšanas metodikas izstrāde, kā arī atbilstošas bojājumu noteikšanas metodikas izstrāde programmā MATLAB:

- kompozīta sendviču konfigurācijas sijām:

plānots apskatīt trīs sendvič tipa piramidālas konfigurācijas alumīnija un oglekļa kompozīta sijas, kurām ieviests dažāda lieluma bojājums alumīnija elementos.

- plātnēm;

Plānots izmantot divu dimensiju veivleta transformācijas algoritmu bojājuma noteikšanai pa plātnes garuma (X) un plātuma (Y) koordinātēm, iegūstot trīs dimensionālu karti, kur Z ass virzienā ir standartizētais bojājuma indekss, iegūts no

veivletu transformācijas koordinātēm.

3. projekta 3. uzdevuma ietvaros apkopoti dati liekto un spiesti-liekto nesošo elementu no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes metodikas izstrādei. Apskatāmās metodikas pamatā ir LVS EN 1995-1-1, efektīga stiprības un stinguma metode un reducēto šķērsgriezuma metode. Efektīga stiprības un stinguma, un reducēto šķērsgriezuma metodes tiek salīdzinātas eksperimentāli un analītiski. Apskatītais panelis no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes tiek aprēķināts izmantojot GEM, kas tiek realizēts ar programmām REFM 5.0 un ANSYS v14. Konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas ir iegūti ar efektīga stiprības un stinguma metodi un reducēto šķērsgriezuma metodi un rezultātiem, kas ir iegūti izmantojot GEM un eksperimentāli iegūtiem rezultātiem nepārsniedz 20%.

Tiek izstrādāts analītisks šķērsnesošās sienas pirmatnējā elementa modelis izmantojot programmu ANSYS v15.

2. posmā paredzēts turpināt reducēto šķērsgriezuma metodes eksperimentālas un analītiskas pārbaudes, apskatot dažādas liekto un spiesti-liekto elementu statistiskas shēmas. Paredzēts analizēt darbību šķērsvirzienā kārtaini līmētiem koka paneļiem, kas piekārti četros punktos, kā arī balstās uz divām malām ar vienmērīgi izkliedētu statistiski pielikto slodzi.

2. posmā paredzēts uzsākt pētījumu par viedas konstrukcijas racionālo konstruktīvo risinājumu. Paredzēts izpētīt nesošas vanšu konstrukcijas iepriekšēja uzsprieguma racionālos parametrus, kas ļauj uzlabot iekšējo spēku un spriegumu sadalījumu pie aprēķina slodzes pielikšanas un samazināt konstruktīvo materiālu patēriņu. Kā pētījumu objektu paredzēts apskatīt sedlveida vanšu pārsegumu ar izmēriem 60x60m.

2.5. Projekta Nr.3 apgūtais finansējums (euro)

		Plānots 2014.– 2017. g.	1. posms	2. posms	3. posms	4. posms
1000– 9000*	IZDEVUMI – KOPĀ	377263.00	60681.00			
1000	Atlīdzība	293737.00	48589.86			
2000	Preces un pakalpojumi (2100+2200+2300)	81037.00	10152.14			
2100	Mācību, darba un dienesta komandējumi, dienesta, darba braucieni	26763.00	90.00			
2200	Pakalpojumi	47599.00	5431.75			
2300	Krājumi, materiāli, energoresursi, preces, medicīniskās ierīces, medicīniskie instrumenti, laboratorijas dzīvnieki un to uzturēšana	6675.00	4630.39			
5000	Pamatkapitāla veidošana	2489.00	1939.00			

* Minētie skaitļi ir budžeta finansēšanas klasifikācijas kodi.

2.6. Projekta Nr. 3 rezultatīvie rādītāji

(Norāda pārskata periodā plānotos un sasniegtos rezultātos rādītājus. Informāciju atspoguļo tabulā unpielikumā)

Rezultatīvais rādītājs	Rezultāti								
	plānots	sasniegts							
	2014.– 2017. g.	2014. g.		gads					
kopā		t. sk. iepriek- šējā periodā uzsākts	2015.	2016.	2017.	2018.*	2019.*		
Zinātniskie rezultatīvie rādītāji									
1. Zinātnisko publikāciju skaits:	15	1							
oriģinālo zinātnisko rakstu (SCOPUS) (SNIP > 1) skaits	6	0							
oriģinālo zinātnisko rakstu skaits ERIH(A un B) datubāzē iekļautajos žurnālos vai konferenču rakstu krājumos	9	1							
recenzētu zinātnisku monogrāfiju skaits	0	0							
...									
2. Programmas ietvaros aizstāvēto darbu skaits:	12	4							
promocijas darbu skaits	3	0							
maģistra darbu skaits	9	1							
bakalaura darbu skaits	0	3							
Programmas popularizēšanas rezultatīvie rādītāji									
1. Programmas gaitas un rezultātu popularizēšanas interaktīvie pasākumi, kuru mērķu grupās iekļauti arī izglītojamie, skaits:	21	1							
konferences	9	0							
semināri	0	0							
rīkoti semināri	9	0							
populārzinātniskas publikācijas	4	1							
izstādes, demonstrācijas									
uzņēmēju un darba devēju informēšanas aktivitātes	0	0							
Betona olimpiāde	0	0							
2. Internēta mājas lapu populārie ziņojumi	30	9							
Tautsaimnieciskie rezultatīvie rādītāji									
1. Zinātniskajai institūcijai programmas ietvaros piesaistītā privātā finansējuma apjoms, t. sk.:	99000	17000							
1.1. privātā sektora līdzfinansējums programmā iekļauto projektu īstenošanai	95000	15000							
1.2. ieņēmumi no programmas ietvaros radītā intelektuālā īpašuma komercializēšanas (rūpnieciskā īpašuma tiesību atsavināšana, licencēšana, izņēmuma tiesību vai lietošanas tiesību piešķiršana par atlīdzību)	0	0							
1.3. ieņēmumi no līgumdarbiem, kas balstās uz programmas ietvaros radītajiem rezultātiem un zinātības	4000	2000							
2. Programmas ietvaros pieteikto,	0	0							

reģistrēto un spēkā uzturēto patentu vai augu šķirņu skaits:								
Latvijas teritorijā	0	0						
ārpus Latvijas	0	0						
3. Programmas ietvaros izstrādāto jauno tehnoloģiju, metožu, prototipu vai pakalpojumu skaits, kas aprobēti uzņēmumos	12	0						
4. Ieviešanai nodoto jauno tehnoloģiju, metožu, prototipu, produktu vai pakalpojumu skaits (noslēgtie līgumi par intelektuālā īpašuma nodošanu)	3	0						
5. ...								

* Norāda pēc programmas īstenošanas.

Projekta Nr. 3 vadītājs
(paraksts¹)

/ A. Paeglītis/

(vārds,
(datums¹))

uzvārds)

Zinātniskās institūcijas vadītājs
(paraksts¹)

(vārds,
(datums¹))

uzvārds)

Piezīme. ¹ Dokumenta rekvizītus "paraksts" un "datums" neaizpilda, ja dokuments ir sagatavots atbilstoši normatīvajiem aktiem par elektronisko dokumentu noformēšanu.

Izglītības un zinātnes ministre

Ina Druviete

