

2. SADAĻA – INFORMĀCIJA PAR PROGRAMMAS PROJEKTIEM

2.1. Projekts Nr.4

Nosaukums

Slāņains koksnes kompozītmateriāls ar racionālu struktūru un palielinātu īpatnējo lieces nestspēju

projekta vadītāja

vārds, uzvārds,

Kārlis Rocēns

zinātniskais grāds

Dr. habil. sc. ing.

Institūcija

RTU Būvniecības un rekonstrukcijas institūts

ieņemamais amats

Vadošais pētnieks

Kontakti

Tālrunis

22023321

E-pasts

rocensk@latnet.lv

2.2. Projekta Nr. 4 mērķi

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

Projekta mērķis: *Slāņainu slodzi nesošu koksnes kompozītmateriālu izveide ar racionālu struktūru*

Aktivitāšu izpildes laika grafiks ir pievienots pielikumā 4-A.

Slāņainu slodzi nesošu koksnes kompozītmateriālu izveide ar racionālu struktūru (standarta saplākšņa plātnēm ir neracionāls materiāla izvietoējums pa plātnes augstumu), kas nodrošina palielinātu īpatnējo lieces nestspēju (nestspēju uz masas vienību), samazinātas izmaksas, materiālu un enerģijas patēriņu, salīdzinot ar tradicionāli lietotajiem koksnes materiāliem (Latvijas Republikas patents Nr. LV14979; LV15083).

Projektā piedāvāts jauna veida materiāls-konstrukcija ar speciālām šūnu tipa dobām ribām un saplākšņa vai cita materiāla apšuvumiem. Šāds risinājums dod iespēju regulēt plātņu lieces nestspēju un samazināt koksnes patēriņu plātnes šķēlumu mazāk noslogotajās daļās. Šīm plātnēm ribojuma uzbūve ļauj plašā intervālā variēt ar lieces nestspēju pretēji standarta saplākšnim un citām slāņainām plātnēm, kurām šī iespēja ir ierobežota. Šāda veida materiāls var tikt plaši pielietots mēbeļu izgatavošanā, mašīnbūvē, kā arī civilajā būvniecībā, paverot iespējas pielietošanai gan vienkāršu, gan daudzstāvu koka ēku būvniecībā. Atkarībā no pielietojuma mainās šī materiāla piepūļu lauks un racionālā struktūra. Lai harmonizētu piepūļu lauku ar materiāla struktūras pretestības lauku, nepieciešams izstrādāt atbilstošas materiāla nestspējas un struktūras aprēķina metodikas.

Atskaites periodā veiktas (vai uzsāktas) šādas aktivitātes:

1. Lieces nestspējas aprēķinu metodikas izstrāde un konceptuāla eksperimentālā pārbaude plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām
2. Īpatnējās lieces nestspējas noteikšanas metodikas izstrāde plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām un īpatnējās nestspējas vērtību noteikšana ribojumam ar tipiskākajām ģeometrisko parametru vērtībām
3. Plātņu modeļu izgatavošana ar tipiskākām šūnu tipa dobām ribām un to pārbaudes liecē, īpatnējās lieces nestspējas, materiālu, enerģijas un izmaksu noteikšana (Izpilde 2017).

gada 2. ceturksnis)

4. Rekomendāciju izstrāde plātņu ar šūnu tipa dobām ribām struktūras ģeometrisku parametru projektēšanai (Izpilde 2017. gada 3. ceturksnis)
5. Ribojuma izgatavošanas un iestrādes tehnoloģijas pamatprincipu izstrāde un plātņu demonstrācijas modeļu izgatavošana (Izpilde 2017. gada 4. ceturksnis)

Izstrādāta lieces nestspējas aprēķinu metodika plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām, kas pierakstīta ANSYS programmēšanas valodā (APDL) un ļauj skaitliski sarēķināt plātnes deformatīvos raksturotājlielumus atkarībā no plātnes veidojošo elementu (apšuvumu biezumi, dobo ribu ģeometrijas un biezumiem) parametriem, ievērtējot nelineārās elementu savienojšanās zonas (CZM) darbības un materiālu sabrukumu kritērijus (FC). Veikta plātņu paraugu izgatavošana un konceptuālas eksperimentālās pārbaudes, dažādu biezumu plātnēm (25; 30; 50; 100 un 150 mm) atbilstoši LVS EN 789:2000 plātnes ribojuma garenvirzienā, kā arī atsevišķos gadījumos (25; 50 un 100 mm) ribojuma šķērsvirzienā. Atšķirība starp aprēķinu un eksperimentāli iegūtajiem rezultātiem, slogojot līdz izliecei 1/200 no plātnes laiduma, nepārsniedz 5%).

Izstrādāta īpatnējās lieces nestspējas aprēķinu metodika, kas balstās uz MATLAB vidē speciāli izstrādātu ģenētisko algoritmu, kas automātiski ģenerē ievades failu APDL valodā un, trenējot mākslīgo neironu tīklu, optimizē plātnes veidojošo elementu ģeometriskos parametrus atkarībā no uzdotā mērķa un mainīgo parametru ierobežojumiem. Piemēram, 25 mm plātnēm īpatnējais stingums garenvirzienā ir $1,08 \pm 0,02 \text{ kNm}^2/\text{kg}$ (par 40% augstāks nekā attiecīgā biezuma saplāksnim), bet šķērsvirzienā $0,67 \pm 0,03 \text{ kNm}^2/\text{kg}$ (par 5% augstāks nekā attiecīgā biezuma saplāksnim).

Uzsākta trīs veidu plātņu modeļu izgatavošana.

Uzsākta rekomendāciju izstrāde plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām, kurās tiks aprakstīti plātnes projektēšanas pamatprincipi racionālai plātņu projektēšanai, ievērtējot projektējamās struktūras ģeometriju un uzņemamās slodzes lielumu.

Uzsākta tehnoloģisko pamatprincipu izstrāde plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām, kur tiek aplūkoti šūnu tipa dobo riba formas iegūšanas paņēmieni, un plātņu izgatavošana atbilstoši LR patentā LV15083 veiktajam paņēmienam.

Daļa no iegūtajiem rezultātiem mērķa sasniegšanas izpildē atspoguļota 9 (atskaite periodā 5) publikācijās un 2 uzturētajos patentos.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai nepieciešamais pētījumu apjoms 3. posmā izpildīts.

Pētījumu rezultāti tika ziņoti 6 konferencēs:

1. Frolovs G., Rocens K., Sliseris J. Shear and tensile strength of narrow glued joint depending on orientation of plywood plys 12th international conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques” in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016
2. Kukule A., Rocens K., Lukasenoks A., Frolovs G. Change of Moisture Distribution in Ribbed Plate with Different Opposite Surface Temperatures 12th international conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques” in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016
3. Sliseris J., Gaile L., Pakrastins L. Deformation process numerical analysis of T-stub flanges with pre-loaded bolts 12th international conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques” in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016
4. Frolovs G., Rocens K., Sliseris J. Stress state analysis of plates with cell type ribs under loading (Stenda referāts) International Conference “Advanced Construction” in Kaunas, Lithuania on 6-7 October, 2016
5. Kukule A., Rocens K., Lukasenoks A., Determination of moisture distribution in ribbed

plate used as building envelope (Stenda referāts) 5th International Conference "Advanced Construction" in Kaunas, Lithuania on 6-7 October, 2016

6. Sliseris J., Gaile L., Pakrastins L. Non-linear buckling analysis of steel frames 5th International Conference "Advanced Construction" in Kaunas, Lithuania on 6-7 October, 2016

Publicēts raksts starptautiskā zinātniskā žurnālā:

1. J.Sliseris, H. Andrā, M. Kabel, B.Dix, B. Plinke. "Virtual characterization of MDF fiber network" European Journal of Wood and Wood Products (SNIP 0,930) (Scopus datu bāze)

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976318982&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=2E1B286D405845C34D49E9CBF83C7457.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3a70&sot=autdocs&sdt=autdocs&sl=18&s=AU-ID%2836133799800%29&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=#>

Publicēti (vai pieņemti publicēšanai) 4 raksti starptautiskos zinātnisko konferenču rakstu krājumos;

1. Frolovs G., Rocens K., Sliseris J. Shear and tensile strength of narrow glued joint depending on orientation of plywood plys 12th international conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques" in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016 Procedia Engineering 00 (2016) 000–000 (pieņemts publicēšanai)
2. Kukule A., Rocens K., Lukasenoks A., Frolovs G. Change of Moisture Distribution in Ribbed Plate with Different Opposite Surface Temperatures 12th international conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques" in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016 Procedia Engineering 00 (2016) 000–000 (pieņemts publicēšanai)
3. Sliseris J., Gaile L., Pakrastins L. Deformation process numerical analysis of T-stub flanges with pre-loaded bolts 12th international conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques" in Vilnius, Lithuania, on 26–27 May, 2016 Procedia Engineering 00 (2016) 000–000 (pieņemts publicēšanai)
4. Sliseris J., Gaile L., Pakrastins L. Non-linear buckling analysis of steel frames Proceedings of the 5th international conference Advanced Construction 2016. ISSN 2029–1213

<http://ktu.edu/uploads/files/fakultetai/Statybos%20ir%20architekt%C5%ABros%20fakultetas/files/PROCEEDINGS%282%29.pdf>

Ir sagatavoti un iesniegti 4 abstrakti vai pilna teksta raksti 2 konferencēs, kas notiks 2017. gadā.

1. Frolovs G., Sliseris J., Rocens K., Optimal design of plate with cell type hollow core "Environment. Technology. Resources.", Rezekne, Latvia, June 15-17, 2017.
2. J.Sliseris, L.Gaile, L.Pakrastins, K.Rocens. Development of beam finite element based on extended-multiscale method for modeling of complex structures. IMST, Riga, Latvia, September 27-29, 2017.
3. Frolovs G., Sliseris J., Rocens K., Stress state analysis of plates with cell type hollow core for typical load cases. IMST, Riga, Latvia, September 27-29, 2017
4. J.Sliseris, L.Gaile, L.Pakrastins, K.Rocens. Non-Linear beam finite element based on extended-multiscale method for modeling of complex natural fiber reinforced beams. "Environment. Technology. Resources.", Rezekne, Latvia, June 15-17, 2017.

Spēkā uzturētie patenti:

1. LV14979 „Ribotu plātņu izgatavošanas paņēmieni” (K. Rocēns, A. Kukule, Ģ. Frolovs, J. Šliseris, Ģ. Bērziņš) (LV patentu valde oficiālais vēstnesis 20.06.2015, 785. lpp <http://www.lrpv.gov.lv/sites/default/files/20150620.pdf>)
2. LV15083 “Ribotas kompozītplātnes izgatavošanas paņēmieni un iekārta, izmantojot tās centrālā nesošā slāņa veidošanai gofrētu sagatavju sistēmu uz koksnes bāzes” (K. Rocēns, Ģ. Frolovs, A. Kukule, J. Šliseris) (LV patentu valde oficiālais vēstnesis 20.12.2015., 1749. lpp. <http://www.lrpv.gov.lv/sites/default/files/20151220.pdf>)

Projekta ietvaros tiek izstrādāti sekojoši promocijas darbi:

1. Ģ. Frolovs “Koksnes kompozītmateriālu racionālu struktūru un konstrukciju elementu aprēķini” (vad. K.Rocēns, J. Šliseris)
2. A.Kukule “Plātņu saplākšņa ribojuma darbs mainīga mitruma apstākļos” (vad. K. Rocēns)

Atskaites posmā par projekta tēmām izstrādāti un aizstāvēti šādi maģistra darbi:

1. A.Levics “3D printētā fibrbetona spiedes un lieces īpašību eksperimentāls salīdzinājums ar monolītu fibrbetonu” (vad. J.Šliseris)

Atskaites posmā par projekta tēmām izstrādāti un aizstāvēti šādi bakalaura darbi ar inženierprojektu:

1. K.Matveja “Nesošo plātņu (paneļu) ģeometrisku parametru optimizācija” (vad. Ģ. Frolovs, paredzēts aizstāvēt 2016. gada janvārī)

Sagatavoti attiecīgi dokumenti, kas apraksta 4 projekta 3. posma laikā izstrādātās metodes (pielikums elektroniski):

1. Lieces nestspējas aprēķinu metodika plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām
2. Īpatnējās lieces nestspējas noteikšanas metodiku plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām

Programmas un projekta popularizēšanas rezultatīvie rādītāji:

Projekta pārstāvji ir piedalījušies visās rīkotajās VPP IMATEH sanāksmēs par projekta norises gaitu un ar īstenošanu saistītajiem jautājumiem.

Valsts pētījumu programmas 4. projekta ziņojums RTU 57. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (14.10.– 18.10.2016.).

Iegūta pirmā vieta starptautiskā izgudrojumu un inovāciju izstādē MINOX 2016 07.10 – 08.10.2016. Rīgā, ar patentiem LV14979 un LV15083 (skatīt pie uzturētajiem patentiem). Izstādes ietvaros dalība arī Biznesa kontaktu programmā – tikšanās ar edo consult pārstāvjiem, kā arī dalība 23.09.2016 seminārā “Izgudrojumu prezentēšanas meistarklase”.

15.11.2016. Rīkots seminārs Būvniecības inženierzinātņu fakultātes, Būvniecības un rekonstrukcijas institūta un Eirāzijas Nacionālās universitātes (Astana, Kazahstāna) pārstāvjiem (Rīgā, Latvijā BIF telpās) ar projekta dalībnieku ziņojumiem par aktuālo stāvokli un pētījumu rezultātiem 2016. gadā. (Dalībnieku skaits ap 15).

IMATEH mājaslapā ir ievietota detalizēta informācija par 4. projekta norisi (<http://imateh.rtu.lv/slanains-koksnes-kompozitmaterials-ar-palielinatu-ipatnejo-lieces-nestspeju/>).

Izveidota sadarbība ar SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūtu” MeKA, kuru veido A/S “Latvijas Valsts meži”, “Latvijas Kokrūpniecības federācija” u.c.

firmas. Šīs sadarbības ietvaros notiek MeKA interesējošo produktu pētniecības un attīstības darbs kopīgi veicot šos pētījumus, iesaistot tajā maģistrantus, kuri saņem atlīdzību no MeKA par veiktajiem darbiem.

Jauni pētniecības projekti, to pieteikumu izstrāde un dalība:

Daļēji pētījums tiek paplašināts arī ERA-Net projekta “Development of eco-friendly composite materials based on geopolymer matrix and reinforced with waste fibers” ietvaros (kopējā summa 69 960 Euro), kā arī, izmantojot Rīgas Tehniskās universitātes konkursā iegūtos grantus 2015./16. gadā J. Šliserim (granta summa 8000 Euro) un 2016./17. gadā Ģ. Frolovam (granta summa 8000 Euro). Sagatavots un iesniegts ERAF (Eiropas Reģionālā attīstības fonda) pasākuma „Praktiskas ievirzes pētījumi” projekta pieteikums (“Viedas, resursu taupošas koksnes, kompozītstruktūras saturošas, ilgtspējīgas un drošas daudzstāvu ēkas”).

2.3. Projekta Nr. 4 uzdevumi

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

Darba uzdevumi	Galvenie rezultāti
<p>1. Izstrādāt lieces nestspējas aprēķinu metodiku un veikt konceptuālas eksperimentālās pārbaudes plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām.</p>	<p>Aprēķinu metodika lieces nestspējas noteikšanai plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām, ievērtējot līmes šuves bīdes un stiepes deformējamības robežlielumus šaurai šuvei starp saplākšņa virsmu un ribas malu, kā arī sabrukuma kritērijus saplākšnim. Plātņu deformējamības simulāciju rezultātu, konceptuālas eksperimentālās pārbaudes, kuras apliecina izstrādātās aprēķinu metodikas adekvātumu.</p>
<p>Izmantojot noteiktos šauras līmes šuves bīdes un stiepes stiprības un deformējamības raksturotājlīelumus, kā arī saplākšņa deformējamības raksturotājlīelumus (t.sk. sabrukuma kritērijus), tiek izveidots ievades faila kods ANSYS ADPL programmēšanas valodā, kurš uzģenerē plātnes struktūru atkarībā no uzdotajiem ģeometriskajiem parametriem (Plātnes platums, biezums, garums, apšuvumu (saplākšņa, MDF, stiegrotu plastiku u.c. lokšņveida materiālu) biezumi un to orientācija, ribojuma orientācija un ģeometriski raksturotāji – ribas platums, ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezums, ribas viļņotās daļas veidojošās sloksnes biezums, ribas viļņu garums (vai skaits pa laidumu), distancējošo līstu biezums u.c. parametri). Plātnes struktūra tiek modelēta ar tilpuma galīgajiem elementiem (SOLID 185 vai SOLSH190) piešķirtajām materiālu deformējamības īpašībām un sabrukuma kritērijiem (FC), kas līmējamās zonās savienoti ar savstarpējas iedarbības galīgajiem elementiem (INTER205). Lietojot izstrādāto aprēķinu metodiku, nosaka plātnes pārvietojumus, spriegumus plātnes elementos un līmējamo zonu kontaktvietās. Tika veiktas konceptuālas eksperimentālās pārbaudes dažādu biezumu (25; 30; 50; 100 un 150 mm) plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām četru punktu liecē (vadoties pēc EN 789) gan dobā ribojuma garenvirzienā, gan arī šķērsvirzienā. Slogojot līdz izliecei 1/200 no plātnes laiduma atšķirība starp aprēķinātajiem un eksperimentāli noteiktajiem rezultātiem nepārsniedz 5%.</p>	
<p>2. Izstrādāt īpatnējās lieces nestspējas noteikšanas metodiku plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām un noteikt īpatnējās nestspējas vērtības ribojumam ar tipiskākajām</p>	<p>Aprēķinu metodika īpatnējās lieces nestspējas (nestspējas uz masas vienību) noteikšanai plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām un racionālas plātnes struktūras</p>

<p><i>ģeometrisko parametru vērtībām.</i></p>	<p><i>piemeklēšana (izmantojot speciāli pielāgotu ģenētisko algoritmu) iespējami lielākai īpatnējai lieces nestspējai uzdotajam sloojumam plātnēm ar tipiskākajām šūnu tipa dobām ribām un biežumiem (25, 30, 50, 100 un 150).</i></p>
<p>MATLAB vidē izstrādāta programma, kura automātiski ģenerē ievades faila kodus ANSYS ADPL programmēšanas valodā, izmantojot 1. aktivitātē izveidoto metodiku, ievērtējot deformējamības raksturotājlīelumus, līmes slāni un sabrukuma kritērijus, lai varētu modelēt saplākšņa plātnes ar šūnu tipa dobām ribām uzvedību (darbu) lieces gadījumā. Izveidota datubāze ar rezultātiem par galveno parametru ietekmi uz plātnes nestspēju. Izmantojot šo datubāzi, konstatēts, ka ribu viļņoto daļu veidojošās sloksnes ārējo lobskaidu šķiedru orientāciju, MDF šķiedru orientāciju un ģeometrisko parametru ietekme uz plātnes stingumu garenvirzienam, ir nebūtiska, taču nozīme pieaug gadījumā, ja veidota plātne, kurai ir tikai viļņoto daļu veidojošās sloksnes. Iegūtā datubāzi ir ievades dati Mākslīgā neironu tīkla (ANN) trenēšanai un validēšanai. Inverso uzdevumu atrisina ar Ģenētisko algoritmu (GA), kas mērķa funkciju izskaitļo izmantojot ANN. Izmantojot šo aprēķinu metodiku, tiek noteikti attiecīgās struktūras elementu ģeometriskie izmēri, tādējādi tiek harmonizēts plātnes šķēluma piepūļu lauks ar plātnes struktūras pretestības lauku. Izstrādātā aprēķinu metodika ļauj salīdzināt dažādu ribojumu efektivitāti uzdotās nestspējas nodrošināšanai un noteikt īpatnējo lieces nestspēju, kas raksturo materiāla patēriņu atbilstošam ribojuma veidam.</p> <p>Plātnes ar šūnu tipa dobām ribām ģeometriskie parametri ir optimizēti, izmantojot speciāli izstrādātu algoritmu (izmantojot iegūto datubāzi un trenēto ANN):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definē galvenos plātnes parametrus; 2. Nosaka plātnes darbības galvenos virzienus; 3. Nosaka visbīstamāko slodžu kombināciju; 4. Nosaka racionālus šķērsriezuma ģeometriskos parametrus, dažāda izmēra plātnēm ar vairākiem slodžu līmeņiem, izmantojot pielāgotu GA un ANN. <p>Aprēķinā izmantots GA, kurā vadāmie faktori ir reāli skaitļi. Katrā iterācija tiek modificēti maināmie faktori ar reprodukcijas, krustošanas un mutācijas ģenētiskajiem operātoriem, kas tiek izsaukti pēc iepriekš uzdotām varbūtībām.</p> <p>Pēc izstrādātās aprēķinu metodikas, uzdodot nestspēju, noteikta plātnes ribojuma struktūra un īpatnējā nestspēja. Sloojot līdz izliecei 1/200 no plātnes laiduma atšķirība starp aprēķināto un eksperimentāli noteikto īpatnējo nestspēju nepārsniedz 5%.</p>	
<p><i>3. Izgatavot plātņu modeļus ar tipiskākajām šūnu tipa dobām ribām un tos eksperimentāli pārbaudīt liecē, un noteikt īpatnējo lieces nestspēju, materiālu un enerģijas izmaksas (uzdevuma beigās 2017. g. 2. ceturksnī).</i></p>	<p><i>Uzsākta 3 veidu plātņu izgatavošana un eksperimentālā plātņu modeļu pārbaude.</i></p>
<p>Uzsākta plātņu modeļu izgatavošana un eksperimentu veikšana atbilstoši laika grafikam. Izgatavotas plātņu paraugu sērijas (> 5 paraugi katrā) plātnes biežumiem 25 mm un 50 mm (atbilstoši mašīnbūves un mēbeļu rūpniecības prasībām) pārbaudēm ribojuma garenvirzienā un tādas pašas sērijas arī pārbaudēm ribojuma šķērsvirzienā, kā arī konceptuāli pārbaudītas biežākās plātnes (50 mm 100 mm un 150 mm atbilstoši civilās būvniecības prasībām) gan ar trīsoslāņu (4,0 mm) saplākšņa apšuvumu, gan arī ar piecu slāņu (6,5 mm) apšuvumiem vadoties pēc EN 789. Veicot izgatavoto ribojuma sagatavju un pēc sazāģēšanas vajadzīgajos biežumos konceptuālu ribojuma formas izpēti, var secināt, ka pieliktais spiediens vienmērīgi salīmējis dobās ribas viļņotās daļas veidojošās sloksnes pie taisnās daļās veidojošās sloksnes un distancējošām listēm. Plātņu novērtējums pēc līmes sacietēšanas tika veikts, pārbaudot</p>	

salīmēto plātņu virsmu līdzenumu - un pārbaužu rezultātā plātņu samešanās nav konstatēta.	
4. Rekomendāciju izstrāde plātņu ar šūnu tipa dobām ribām struktūras ģeometrisku parametru projektēšanai (uzdevuma beigās 2017. g. 3. ceturksnī).	Uzsākta rekomendāciju izstrāde, kurās dotas norādes šādu plātņu struktūras projektēšanai uzdotai plātnes nestspējai un biežumam, nodrošinot iespējami lielāko lieces nestspēju.
<p>Izveidotas rekomendācijas skaitlisko aprēķinu veidā, kas ļauj aprēķināt plātnes struktūras elementu parametrus, atkarībā no uzdotās plātnes ģeometrijas ierobežojumiem, sloģojuma veida un robežnosacījumiem. Tiek izstrādātas speciālas procedūras priekš aprēķinu metodikas, kurās atkarībā no plātņu pielietojuma veida tiek lokalizēts optimizācijas uzdevums un rezultātu datu bāze, kas padara efektīvāku, drošāku un ātrāku optimizācijas procesu. Visos gadījumos plātnes struktūra un struktūras noteikšanas metodika tiek pielāgota atbilstoši pielietojumam. Plātnes ar šūnu tipa dobām ribām, atkarībā no to biežuma un ribojuma topoloģijas, var lietot plašā apgabalā – mašīnbūvē, mēbeļu rūpniecībā un civilajā būvniecībā un būvražošanā.</p>	
5. Ribojuma izgatavošanas un iestrādes tehnoloģijas pamatprincipu izstrāde un plātņu demonstrācijas modeļu izgatavošana (uzdevuma beigās 2017. g. 4. ceturksnī).	Uzsākta ribojuma sagataves un plātnes izgatavošanas pamatprincipu izstrāde.
<p>Izgatavojot šūnu tipa dobās ribas, viļņoto daļu veidojošo loksnes tiek salīmētas ar taisno daļu veidojošo loksni, bet viļņu ģeometriskās formas iegūšanai tiek izmantotas nepieciešamās distancējošās līstes, kuras var tikt ielīmētas, nodrošinot papildus pastiprinājumu plātnes ribojuma šķērsvirzienā vai atsevišķos gadījumos izņemtas, ja tas nepieciešams. Tehnoloģisko principu ievērošanai ir papildus izgatavota iekārta, ar kuru tiek nodrošināts plātnes salīmēšanai nepieciešamais spiediens. Iestrādes tehnoloģiskie pētījumi pierāda, ka pie vienmērīgi nodrošināta līmēšanas spiediena, šaurās līmes šuvēs tiek nodrošināts pietiekami stings savienojums. Noteikti maksimāli iespējamie ribu platumi, lai ribas viļņotās daļas veidošanas procesā netiktu pārsniegti pieļaujamie spriegumi saplāksnī.</p>	

2.4. Projekta Nr. 4 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 iespējamās risinājumus, turpmākā darba virzienus. **Kopējais saturiskais izklāsts nepārsniedz četras A4 lapas**)*

Projekta aktivitātes veiktas atbilstoši laika grafikam, un atskaites periodā plānotie mērķi sasniegti.

To apliecina:

1. Izstrādātā aprēķinu metodika lieces nestspējas noteikšanai plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām, ievērtējot līmes šuves bīdes un stiepes deformējamības robežlielumus šaurai šuvei starp saplākšņa virsmu un ribas malu, kā arī sabrukuma kritērijus saplāksnim. Eksperimentālās pārbaudes apliecina izstrādātās aprēķinu metodikas adekvātumu. Sloģojot līdz izliecei 1/200 no plātnes laiduma atšķirība starp aprēķinātajiem pēc izstrādātās metodikas un eksperimentāli noteiktajiem rezultātiem nepārsniedz 5 %.
2. Izstrādātā aprēķinu metodika īpatnējās lieces nestspējas (nestspējas uz masas vienību) noteikšanai plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām un racionālas plātnes struktūras piemeklēšana (izmantojot speciāli pielāgotu ģenētisko algoritmu) iespējami lielākai īpatnējai lieces nestspējai uzdotajam sloģojumam. Sloģojot līdz izliecei 1/200 no plātnes laiduma atšķirība starp aprēķināto un eksperimentāli noteikto īpatnējo nestspēju nepārsniedz 5%.

3. Uzprojektētas un izgatavotas plātnes ar tipiskākajām šūnu tipa dobām ribām un biežumiem (25, 30, 50, 100 un 150). Eksperimentālās pārbaudēs noskaidrotas deformējamības un sabrukuma īpatnības atkarībā no plātnes struktūras topoloģijas. Iegūtie rezultāti apliecināja, ka galvenās deformējamības un sabrukuma īpatnības tiek ievērtētas izstrādātajā aprēķinu modelī.

Rezultātu zinātniskā un praktiskā nozīmība, kā arī rezultātu praktisko lietojumu raksturojums:

Izstrādātā lieces nestspējas aprēķinu metodika plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām ļauj detalizēti modelēt un noteikt plātnes deformatīvās īpašības ar iespēju optimizējot tās ģeometriskos parametrus, maksimizēt īpatnējo lieces nestspēju (gan plātnes garenvirzienā, gan arī šķērsvirzienā).

Plātnes lieces nestspējas aprēķinu metodikas pamatā ir šī projekta ietvaros speciāli MATLAB vidē izstrādāta programma, kura automātiski ģenerē ievades faila kodus ANSYS ADPL programmēšanas valodā, kurā tiek parametriskā veidā definēta plātnes ģeometrija, robežnosacījumi un mehānisko īpašību raksturotlielumi. ANSYS galīgo elementu aprēķinu modulis, izmantojot šo kodu, izskaitļo plātnes stingumu un spriegumu-deformāciju lauku, tādējādi tiek uzģenerēta datubāze ar rezultātiem par plātņu stingumu un stiprību atkarība no plātņu ģeometrijas. Šo iegūto datubāzi tālāk izmanto, trenējot mākslīgo neironu tīklu, kurš savukārt ir sastāvdaļa optimizācijai, kas veikta ar ģenētisko algoritmu. ANSYS ADPL programmā tiek izšķirti divi gadījumi – plātnes uzvedība vispārīgā veidā ar to, rēķinot plātnes stingumu, nepieciešams ievērtēt nelineārās līmes šuves un saplākšņa materiāla mehāniskās īpašības, kuras saistītas ar plaisu veidošanos līmes šuvēs un to apkārtņē, ka arī sabrukuma kritēriji plātnes elementos, un otrs gadījums, kad plātnes mezgli tiek stingi savienoti savā starpā un sabrukuma kritērijus tiešā veidā nieievērtē. Nelineārās uzvedības aprēķinu modelis var tikt izmantots arī projektējot racionālas enerģiju - vibrāciju slāpējošas konstrukcijas. Plātnes modelē divos līmeņos. Pirmajā līmenī tiek detalizēti modelēti saplākšņa elementi (ribas un apšuvumi) un to kopdarbība, izmantojot tilpuma SOLID185 vai SOLSH190 galīgos elementus, kas balstīts uz elastības teoriju un telpisku spriegumstāvokli.

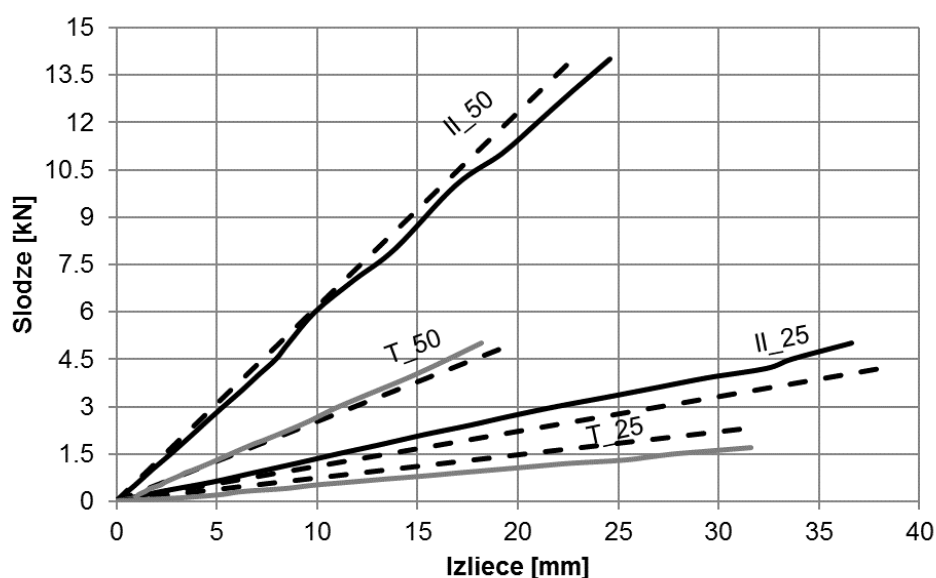
Līmētā savienojuma nelineāro uzvedību plātnes aprēķina vispārīgajā gadījuma simulē izmantojot kohēzijas galīgos elementus, kuri ievērtē arī plaisu veidošanos līmes slānī. Šajā gadījumā tas realizēts ar INTER205 galīgajiem elementiem, kuri simulē atdalīšanās procesu līmes šuvē. Līmes šuves atvērums tiek sadalīts normālajā un tangenciālajā komponentē. Tiek definēti arī maksimālie normālspriegumi un maksimālie tangenciālie spriegumi. Tika noskaidrotas vidējā aritmētiskā vērtības ticamības intervāla robežas pie 95% varbūtības ar standartnovirzi, kas nevienā gadījumā nepārsniedz 15%. Līmes slāņa vidējais bīdes robežstiprības lielums ir 7,11 MPa un vidējais pārvietojums sabrukšanas brīdī – 0,64 mm. Līmes slāņa vidējais stiepes robežstiprības lielums – 3,39 MPa un vidējais pārvietojums sabrukšanas brīdī – 0,15 mm. Izmantojot iegūtos datus kontaktzonas materiāls tiek ģenerēts plātnes ribojuma sadurvietās, ja nepieciešams arī distancējošo listu un saplākšņa sadurvietās, kā arī apšuvumu pielīmēšanai pie ribojuma vai arī atsevišķi tikai apšuvuma pielīmēšanai pie ribojuma.

Noskaidrotie eksperimentālie rezultāti izmantoti par ievadi ANSYS APDL programmēšanas kodā un iegūts, ka aprēķinātās spriegumu pārvietojumu līknes līmētiem savienojumiem raksturs ir nelineārs un atrodas eksperimentāli noteiktajās apgabalu robežās. Tādā veidā līmes šuves īpašības var izmantot plātņu modeļu simulācijās. (Par iegūtajiem rezultātiem ir sagatavots raksts konferences pilnu rakstu krājumam - Shear and tensile strength of narrow glued joint depending on orientation of plywood plys, skatīt publikāciju sarakstu). Aprēķinu rezultātā ir iespējams noteikt spriegumstāvokļus plātnes elementos un to

līmējuma sadurvietās. Šāda pieeja ļauj racionāli projektēt plātnes apšuvumu biezumus un ribojuma ģeometriskos parametrus atkarībā no slodzes lieluma un nepieciešamās plātnes ģeometrijas, ievērtējot arī kopīgo ribojuma un apšuvumu darbību līmējuma zonās.

Otrajā līmenī ribas (un siltumizolācija, ja nepieciešams) tiek aizstātas ar vienu homogenizētu slāni (biezums vienāds ar ribu augstumu), kura anizotropās īpašības tiek iegūtas, izmantojot rezultātus no pirmā līmeņa aprēķina un skaitliskās homogenizēšanas pamatpieejas. Aprēķinu veicot ar homogenizēto vidusslāni, sarežģītas ģeometrijas gadījumā izmanto galīgo elementu metodi un plātņu galīgo elementu, kas balstīts uz Reissner - Mindlin šķērsdeformāciju teoriju. Ja ģeometrija un robežnosacījumi ir relatīvi vienkārši, izmanto analītiskos atrisinājumus plātnes lieces diferenciālvienādojumam, kas iegūts trīs slāņu plātnei un balstīts uz Reissner - Mindlin šķērsdeformāciju teoriju.

Veiktas eksperimentālās pārbaudes tipveida gadījumiem plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām (1. attēls).



1. attēls. Plātņu raksturīgās deformēšanās līknes līdz 80% no robežstiprības, 25 mm; 50 mm biežām plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām ribojuma garenvirzienā un šķērsvirzienā (laidums 1100 mm; apšuvumu biezums - 4,0 mm; dobo ribu taisno daļu veidojošās sloksnes biezums- 6,5 mm; dobo ribu viļņoto daļu veidojošās sloksnes biezums- 4,0 mm).

Plātnēm ar apšuvuma biezumu 4,0 mm sabrukums notiek spiestā apšuvuma vietējās (lokālās) izkļaušanās dēļ. Palielinot apšuvumu biezumu, lokālās izkļaušanās tiek ierobežotas un sabrukums var tikt novērots arī līmējuma zonās, lai gan lietojamības robežstāvoklis (izliece ir 1/200 no laiduma) 50 mm biežām plātnēm tiek sasniegts pie aptuveni 1/5 no stiprības robežstāvokļa.

Noteikta plātnes ģeometrisko parametru ietekme uz plātnes īpatnējo lieces nestspēju. Maksimālo pieļaujamo slodžu atkarība no plātnes ribojuma un apšuvumu ģeometriskajiem parametriem. Galvenie faktori, kas ietekmē maksimālo pieļaujamo slodžu vērtības, ko var uzņemt plātne, ir augšējā un apakšējā apšuvuma, dobās ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezumi, kā arī liekto ribu forma. No izgatavošanas viedokļa tiek pieņemts nemainīgs ribojuma izvietojums un galīgo elementu modelis.

Tipiskākajam ribojuma veidam no izgatavošanas viedokļa (Plātnes parauga garums 1200 mm, platums 300 mm, ar 5 savstarpēji salīmētām ribām, kuras katra 60 mm plata, apšuvumu un ribas viļņotās daļas biezums 4,0 mm, bet ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezums

6,5 mm) noteiktas īpatnējā stinguma vērtības (vidējā aritmētiskā vērtības ticamības intervāla robežās pie 95% varbūtības ar standartnovirzi, kas nepārsniedz nevienā gadījumā 15%). Piemēram, 25 mm biežām plātnēm garenvirzienā īpatnējais stingums $1,08 \text{ kNm}^2/\text{kg}$, bet šķērsvirzienā $0,67 \text{ kNm}^2/\text{kg}$, un 50 mm plātnēm – garenvirzienā $3,51 \text{ kNm}^2/\text{kg}$, bet šķērsvirzienā $1,61 \text{ kNm}^2/\text{kg}$.

Gadījumā, kad maināmais faktors ir ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezums (rezultātu datu bāze tiek sašaurināta) un optimizācijas uzdevumā, kā ierobežojums tiek definēts nepieciešamā nestspēja, pārējie ģeometriskie parametri, slodze un robežnosacījumi, tad trenētais ANN kopā ar ĢA ir noteicis minimālo taisno daļu veidojošās sloksnes biezumu $t=6,5 \text{ cm}$, kā iepriekšējā piemērā minētajām plātnes ģeometrisko parametru vērtībām, slodzēm un robežnosacījumiem, kas atšķiras no eksperimentālajām pārbaudēm 5 %. Detalizētāka īpatnējās lieces nestspējas analīze dažādiem plātņu augstumiem, apšuvumu un ribu taisno daļu veidojošo sloksņu biezumiem, kā arī ribu viļņoto daļu veidojošo sloksņu izliekumiem paredzēta nākamajā posmā.

Lai paplašinātu rezultātu praktisko pielietojanu, papildus projektā paredzētajiem uzdevumiem, ir veikti pētījumi tērauda savienojumu mezglu analīzei un rāmju noturības jautājumu pētīšanai, ko varētu izmantot par nesošajiem elementiem šādām plātnēm. Tāpat papildus pētītas arī [temperatūras un mitruma maiņas ietekme uz koksnes materiāla ribojuma un apšuvumu uzvedību](#).

Izgatavotas plātnes paraugu sērijas ar dažādiem biezumiem (2. attēls) plātnes lieces nestspējas noteikšanai garenvirzienā un šķērsvirzienā (atbilstoši kā to paredz lieces gadījumam EN 789), ievērtējot iepriekšējā posmā iegūtos līmēšanas tehnoloģiskos parametrus (piemēram, spiediens uz līmējamām sadurvietām, saspiešanas ilgums, laiks līdz pārbaužu veikšanai u.c.) iestrādes ir veiksmīgi izveidotas un pilnveidojamas projekta noslēdzošajā posmā. Detalizēti pārbaudītas plātnes ar biezumiem 25 un 50 (paraugu skaits >5 gan plātnes ribojuma garenvirzienā, gan šķērsvirzienā), kā arī konceptuāli pārbaudītas arī citu biezumu plātnes (līdz 150 mm), un mainot ribojuma intensitāti un apšuvumu biezumu.



2. attēls Paraugi plātnes ar šūnu tipa dobām ribām lieces nestspējas noteikšanai: Biezums 25 mm; 30 mm; 50 mm; 100 mm un 150 mm.

Balstoties uz izstrādāto metodiku, ir uzsākta rekomendāciju izstrāde plātņu ar šūnu tipa dobām ribām projektēšanai, pēc kuru pabeigšanas būs iespējams sarēķināt nepieciešamos plātnes parametrus, uzprojektējot racionālu plātnes struktūru, un dotas galvenās norādes šo plātņu pielietošanā.

Ribojuma izgatavošanas un iestrādes tehnoloģisko pamatprincipu izstrāde faktiski uzsākta jau iepriekš, iesniedzot un saņemot patentus LV14979 un LV15083. Taču, šajā posmā, uzsākta ne tikai plātņu modeļu izgatavošana eksperimentālajām pārbaudēm, bet arī tehnoloģisko iespēju pierādīšana izgatavojot plātņu demonstrācijas modeļus (samazināta mēroga prototipus) noteiktam pielietojuma mērķim. Noteiktas tehnoloģiskās iespējas dobās ribas veidojošajiem viļņotajiem elementiem, kādi rodas veicot vienmērīgu saspiešanu, un noteikti pieļaujamie ribu platumi, bez papildus atspere pielāgošanas – šādā veidā iespējams veidot ribas ar platumu līdz 70mm, ja dobās ribas taisno daļu veidojošās loksnes biezums 6,5 mm un liecama viļņoto daļu veidojošās loksnes biezums 4,0 ar ārējo šķiedru lobskaidu orientāciju perpendikulāri attiecībā pret distancējošo līstu virzienu. Speciāli pielāgojot izgatavoto iekārtu, var realizēt arī projekta ietvaros izstrādāto izgatavošanas paņēmieni, kas aprakstīts patentā LV15083. Demonstrācijas modeļi (samazināta mēroga prototipi) veidoti atbilstoši EN 789 standartam un papildus arī biežākām plātnēm, nepalielinot paraugu lielumu (platumu un garumu).



3. attēls. Demonstrācijas paraugs ar pārstrādātu beramo siltumizolāciju, bez siltumizolācijas, ar poliuretāna putu siltumizolāciju.

Iegūto rezultātu un pētāmā objekta aktualitāti raksturo iegūtā pirmā vieta pirmā vieta starptautiskā izgudrojumu un inovāciju izstādē MINOX 2016 07.10 – 08.10.2016, kuru organizēja LIB un „Connect Latvia” un atbalsta arī Latvijas Tirdzniecības un rūpniecības kamera.

Projekta darbinieku atalgojums pārskates periodā sastāda 16 388 eiro (bruto algas – 13 380 EUR + VSAOI – 3008 EUR).

Problēmas, iespējamie risinājumi:

Pie atsevišķām plātņu struktūras topoloģijām, slogojot plātnes 4 punktu liecē, tika konstatēti atsevišķu struktūras elementu noturības zudumi, kas rada nepieciešamību noskaidrot plātņu struktūras topoloģijas risinājums, kas ļauj iespēju robežās izvairīties no šīs problēmas.

Lai sasniegtu projekta mērķi, projekta 4.posmā paredzēts:

1. Plātņu modeļu izgatavošana ar tipiskākām šūnu tipa dobām ribām un to pārbaudes liecē, īpatnējās lieces nestspējas, materiālu, enerģijas un izmaksu noteikšana (3 veidu modeļu pārbaudes)
2. Rekomendāciju izstrāde plātņu ar šūnu tipa dobām ribām struktūras ģeometrisku parametru projektēšanai (1 gab)
3. Ribojuma izgatavošanas un iestrādes tehnoloģijas pamatprincipu izstrādi un plātņu demonstrācijas modeļu izgatavošanu (1 tehnoloģiskie pamatprincipi + 3 veidu demonstrācijas modeļi)

Turpmākos pētījumus veikt atbilstoši aktivitāšu izpildes laika grafikam (Pielikums 4-A).

2.6. Projekta Nr. 4 rezultatīvie rādītāji

(Norāda pārskata periodā plānotos un sasniegtos rezultatīvos rādītājus. Informāciju atspoguļo tabulā un pielikumā)

Rezultatīvais rādītājs	Rezultāti					
	Plānots 2014.– 2017. g.	sasniegts gads				
		2014.	2015.	2016.	t. sk. iepriekšējā periodā uzsākts	2017.
Zinātniskie rezultatīvie rādītāji						
1. Zinātnisko publikāciju skaits:	6	0	4	5	9	
oriģinālo zinātnisko rakstu (SCOPUS)(SNIP>1) skaits		0	1	1	2	
oriģinālo zinātnisko rakstu skaits ERIH(A un B) datubāzē iekļautajos žurnālos vai konferenču rakstu krājumos	4	0	3	4	7	
recenzētu zinātnisku monogrāfiju skaits	0	0	0	0	0	
2. Programmas ietvaros aizstāvēto darbu skaits:	4	0	2	2	4	
promocijas darbu skaits	1	0	0	0	0	
maģistra darbu skaits	3	0	2	1	3	
bakalaura darbu skaits	0	0	0	1	1	
Programmas popularizēšanas rezultatīvie rādītāji						
1. Programmas gaitas un rezultātu popularizēšanas interaktīvie pasākumi, kuru mērķu grupās iekļauti arī izglītojamie, skaits:	16	2	8	10	20	
konferences	6	0	3	6	9	
semināri	4	1	4	2	7	
rīkoti semināri un konferences	4	1	1	1	3	
populārzinātniskas publikācijas	0	0	0	0	0	
izstādes, demonstrācijas	2	0	0	1	1	
Betona olimpiāde	0	0	0	0	0	
2. Interneta mājas lapu populārie ziņojumi	18	6	8	7	21	
Tautsaimnieciskie rezultatīvie rādītāji						
1. Zinātniskajai institūcijai programmas ietvaros piesaistītā privātā finansējuma apjoms, t. sk.:	20000	4621	0	0	0	
1.1. privātā sektora līdzfinansējums programmā iekļauto projektu īstenošanai	20000	0	0	0	0	
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	0	0	0	
1.3. ieņēmumi no līgumdarbiem, kas balstās uz programmas ietvaros radītajiem rezultātiem un zinātnības	0	4621	0	0	0	

2. Programmas ietvaros pieteikto, reģistrēto un spēkā uzturēto patentu vai augu šķirņu skaits:	2	1	1	0	2	
Latvijas teritorijā	2	1	1	0	2	
ārpus Latvijas	0	0	0	0	0	
3. Programmas ietvaros izstrādāto jauno tehnoloģiju, metožu, prototipu vai pakalpojumu skaits, kas aprobēti uzņēmumos	0	0	0	0	0	
4. Ieviešanai nodoto jauno tehnoloģiju, metožu, prototipu, produktu vai pakalpojumu skaits (noslēgtie līgumi par intelektuālā īpašuma nodošanu)	0	0	0	0	0	
5. Noslēgtie līgumi par praktisko pētījumu projektu realizāciju saistībā ar projekta mērķiem un RIS 3.	0	0	0	85 000	85 000	

Projekta Nr. 4 vadītājs _____ **Kārlis Rocēns** _____ -

_____ (datums¹)

(paraksts¹)

(vārds, uzvārds)

Zinātniskās institūcijas vadītājs _____

(paraksts¹)

(datums¹)

(vārds, uzvārds)

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

4. projekta aktivitāšu izpildes laika grafiks

	2014		2015				2016				2017			
	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Lieces nestspējas aprēķinu metodikas izstrāde un konceptuāla eksperimentālā pārbaude plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām	x	x	x	x	x	x	x	X						
1.1. aprēķinu metodes izstrāde	x	x	x	x	x	x	x	X						
1.2. paraugu mehānisko īpašību eksperimentāla noteikšana				x	x	x	X							
1.2.1 Bīdes pretestības noteikšanas metodika speciāliem paraugiem līmes šuvei starp saplākšņa virsmu un malu.				x	x	X								
1.2.2 Deformējamības un stiprības noteikšana plātnēm liecē					x	x	X							
2. Īpatnējās lieces nestspējas noteikšanas metodikas izstrāde plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām un īpatnējās nestspējas vērtību noteikšana ribojumam ar tipiskākajām ģeometrisko parametru vērtībām					x	x	x	x	X					
2.1. aprēķinu metodes izstrāde					x	x	x	X						
2.2. Īpatnējās lieces nestspējas noteikšana							x	x	X					
3. Plātņu modeļu izgatavošana ar tipiskākām šūnu tipa dobām ribām un to pārbaudes liecē, īpatnējās lieces nestspējas, materiālu, enerģijas un izmaksu noteikšana				x	x	x	x	x	x	x	x	X		
4. Rekomendāciju izstrāde plātņu ar šūnu tipa dobām ribām struktūras ģeometrisku parametru projektēšanai									x	x	x	x	X	
5. Ribojuma izgatavošanas un iestrādes tehnoloģijas							x	x	x	x	x	x	x	X

pamatprincipu izstrāde un plātņu demonstrācijas modeļu izgatavošana														
6. Publikācijas, Scopus										1			1	
7. Konferences				1		1		1	1			1	1	
8.Promocijas un maģistru darbu vadīšana	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x