



Izglītības un zinātnes ministrija



Studiju un zinātnes
administrācija

Valsts pētījumu programmas “Inovātīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides
drošumam (IMATEH)”

4. projekta “Slāņains koksnes kompozītmateriāls ar racionālu struktūru un
palielinātu īpatnējo lieces nestspēju”

2. nodevums

**Īpatnējās lieces nestspējas noteikšanas metodika plātnēm ar šūnu tipa
dobām ribām**

Sagatavoja: M.sc.ing. Ģirts Frolovs

Dr.sc.ing. Jānis Šliseris

Projekta vadītājs: Dr. habil. sc. ing. Kārlis Rocēns

Rīga, 2016. gada 1. decembris

SATURS

1.	Īss metodikas apraksts	3
2.	Aprēķinu metodikas algoritms.....	5
3.	Aprēķinu metodikas pielietošanas piemērs	8
4.	Īpatnējās lieces nestspējas vērtību noteikšana ribojumam ar tipiskākajām ģeometrisku parametru vērtībām	9
5.	Literatūra.....	10

Lietojot šo aprēķinu metodiku, jāievēro Eiropas Savienības spēkā esošos standartus.

Aprēķinu metodikā lieto šādus terminus un definīcijas:

- Plātne ar šūnu tipa dobām ribām - Plātne, kuru veido saplākšņa šūnu tipa dobais ribojums un saplākšņa vai kāda cita materiāla apšuvums.
- plātnes garenvirziens - virziens, kas sakrīt ar ribas taisno daļu veidojošās sloksnes garenvirzienu
- plātnes šķērsvirziens - virziens, kas perpendikulārs dobās ribas taisno daļu veidojošās sloksnes garenvirzienam
- plātnes stingums - vienu metru platas joslas stinguma ekvivalents
- plātnes īpatnējā nestspēja – plātnes nestspēja uz masas vienību

1. Īss metodikas apraksts

Ribotās plātnes konstrukcija sastāv no augšējā un apakšējā apšuvuma un šūnu tipa dobo ribu vidusslāņa [8,13]. Īpatnējās lieces nestspējas noteikšana ir saistīta ar konstrukcijas optimizācijas problēmu. MATLAB vidē [1,2] izstrādāta programma, kura automātiski ģenerē ievades faila kodus ANSYS ADPL programmēšanas valodā [6,7], izmantojot 1. aktivitātē izveidoto metodiku [17], ievērtējot deformējamības raksturotājlielumus, 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. Iegūtā datubāze ir ievades dati Mākslīgā neironu tīkla (ANN) trenēšanai un validēšanai. Inverso uzdevumu atrisina ar Ģenētisko algoritmu (GA). Ģenētiskais Algoritms ir balstīts uz ģenētikas un dabīgās atlases principiem - izdzīvo labākais un piemērotākais konkrētiem apstākļiem. Algoritmā tiek izmantoti dabiskās ģenētikas pamatoperatori - reprodukcija, krustošanās un mutācijas [3,5]. 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.

Mūsu pielāgotais GA tiešā veidā izmantojams tikai optimizācijas problēmām bez ierobežojumu vienādojumiem vai nevienādībām. Tāpēc vispārīgā optimizācijas problēma tiek pārveidota par optimizācijas problēmu bez ierobežojumiem, izmantojot soda funkcijas (penalty functions) [5]: Soda funkciju parametri dod iespēju grupēt ierobežojumus pēc to

nozīmīguma - svarīgākiem lieto lielākas parametru vērtības, bet funkcijas tiek kāpinātas kvadrātā, lai izvairītos no negatīvām vērtībām, jo tiek risināts minimizācijas uzdevums.

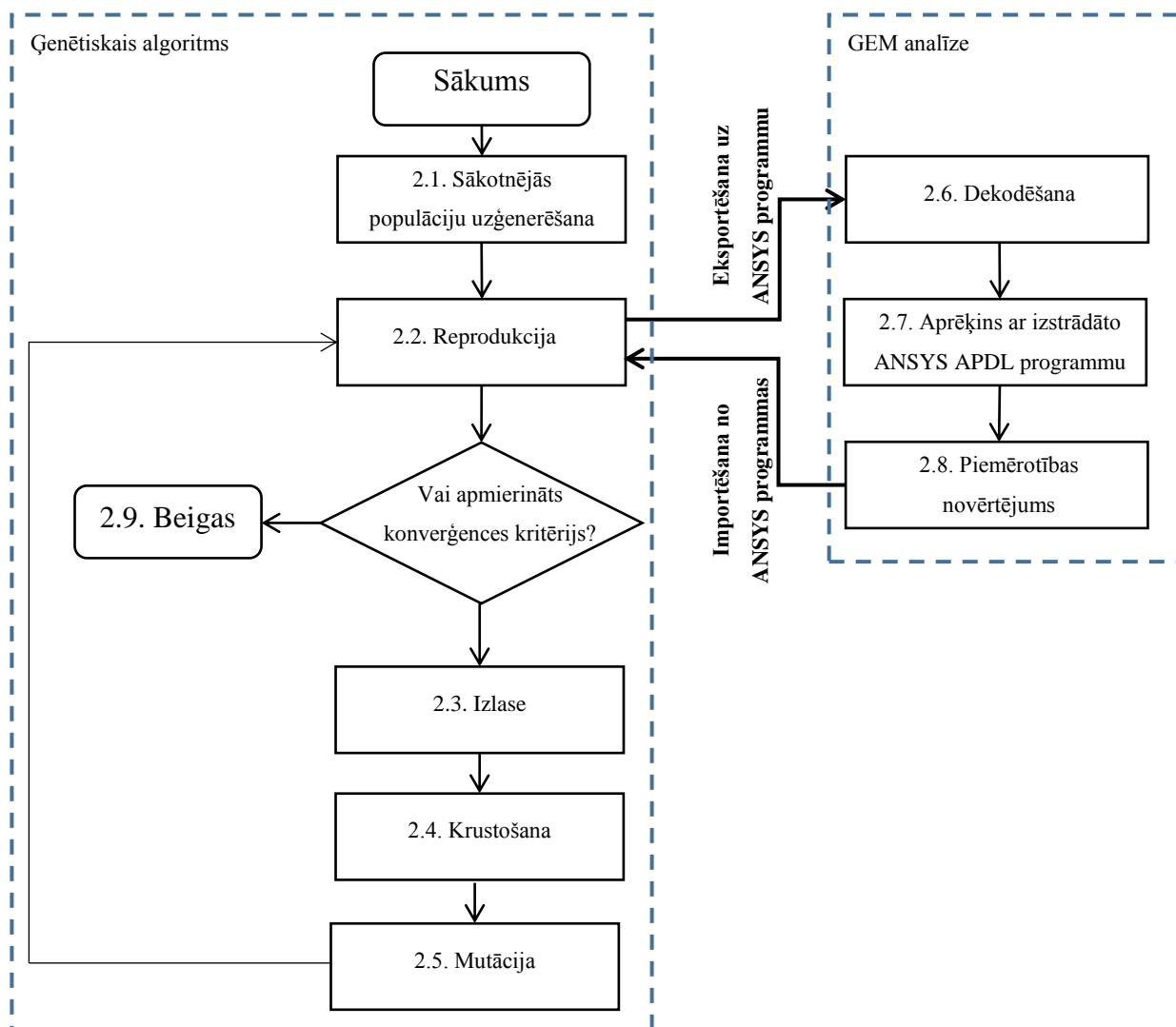
Plātnes ar šūnu tipa dobām ribām ģeometriskie parametri optimizēti, izmantojot iepriekš aprakstīto speciāli izstrādāto algoritmu (izmantojot iegūto datubāzi un trenēto ANN):

- definē galvenos plātnes parametrus;
- nosaka plātnes darbības galvenos virzienus;
- nosaka visbīstamāko slodžu kombināciju;
- nosaka racionālus šķērsriezuma ģeometriskos parametrus, izmantojot pielāgotu GA un ANN;

Aprēķinā izmanto GA, kurā vadāmie faktori ir reāli skaitļi. Katrā iterācija tiek modificēti maināmie faktori ar reprodukcijas, krustošanas un mutācijas ģenētiskajiem operatoriem, kas tiek izsaukti pēc iepriekš uzdotām varbūtībām.

Pēc izstrādātās aprēķinu metodikas, uzdodot nestspēju, nosaka plātnes ribojuma struktūru ģeometriskos izmērus un īpatnējo nestspēju.

2. Aprēķinu metodikas algoritms



1. attēls Optimizācijas procesa vienkāršota blokshēma balstīta uz Ģenētisko algoritmu un ANSYS galīgo elementu analīzi.

2.1. Sākotnējās populācijas uzģenerēšana

Populācija ir indivīdu masīvs. Katrā iterācijā GA veic skaitļošanas sēriju par pašreizējo paaudzi, lai radītu jauno paaudzi. Katra nākamā populācija tiek saukta par jauno paaudzi. Lai radītu nākamo paaudzi, GA izvēlas noteiktus indivīdus pašreizējā paaudzē, kurus sauc par „vecākiem”, un izmanto viņus, lai radītu indivīdus nākamajai paaudzei, ko sauc par „bērniem”. Algoritms izvēlas tos “vecākus”, kuriem ir labāka mērķa funkcijas vērtība. Katrā solī GA izmanto pašreizējo populāciju, lai radītu „bērnus”, kuri formēs nākamo paaudzi. Algoritms izvēlas „vecākus” ar labāku mērķa funkcijas vērtību un izmanto viņu „hromosomas” „bērnus” radīšanai. [1]

Algoritma sākumā tiek ģenerēta nejauša sākotnējā populācija definīcijas apgabalā, kas sastāv no N vektoriem, kur katrs vektors nosaka savu optimizējamo lielumu kombināciju. Ja ir aptuveni zināms, kurā vietā atrodas optimālās vērtības ieteicams noteikt apgabalu, kurā maināmi šie parametri un lai tās atrastos iespējami tuvu šo apgabalu vidum. Katram vektoram tiek aprēķināta mērķa funkcijas vērtība. Pēc tam tiek ģenerēti citi optimizējamo parametru vektori, iedarbojoties uz populāciju ar ģenētiskajiem operatoriem - reprodukciju, krustošanu un mutāciju [4,5]. Evolūcijas veidā tiek iegūti arvien optimālāki ribota saplākšņa konstrukcijas elementa ģeometriskie parametri.

2.2. Reprodukcija ir pirmais ģenētiskais operators, kurš iedarbojas uz populāciju un tā uzdevums ir izvēlēties labākos indivīdus - plātnes ģeometriskos parametru vektorus, kuri dod mazākās mērķa funkcijas vērtības.

2.3. Izlase ir operators, kurš izvēlas indivīdus vēlākai krustošanai. Mērķa funkcija ir novērtēta katram indivīdam iegūstot mērķa funkcijas vērtības, kuras tiek normalizētas. Normalizēšana nozīmē katra indivīda mērķa funkcijas vērtības izdalīšanu ar visu mērķa funkciju vērtību summu. Tālāk populācija tiek sakārtota mērķa funkciju vērtību dilstošā secībā. Izrēķina uzkrātās normalizētās mērķa funkcijas vērtības (uzkrātās mērķa funkcijas vērtības katram indivīdam ir to pašu mērķa funkcijas vērtības plus mērķa funkcijas vērtības no iepriekšējiem indivīdiem). Uzkrātās mērķa funkciju vērtība pēdējam indivīdam jābūt vienādai ar 1. Tiek izvēlēta nejauša vērtība starp 0 un 1 un izvēlētais indivīds ir tas, kuram pirmajam uzkrātā vērtība ir lielāka par R , paturot labākos indivīdus no iepriekšējās paaudzes uz nākamo sauc par "elites bērniem".

2.4. Krustošana ir ģenētiskais operators, kurš iedarbojas uz populāciju ar noteiktu varbūtību. Šis operators pēc nejaušības principa izvēlas divus optimizējamo parametru vektorus ("vecākus") un pēc noteikta algoritma, izmainot šo vektoru koeficientu bināros kodus, iegūst divus jaunus vektorus ("bērnus"). Krustošanas operators pēc nejaušības principa ģenerē veselu skaitli intervālā no 1 līdz j , kur j - aplūkojamā optimizējamā parametra binārā koda garums. Izmainot binārā koda i -to skaitli no 0 uz 1 vai otrādi, kur i ir nejauši uzģenerētais skaitlis, tiek iegūta jauna parametra vērtība. Iegūtais jaunais vektors tiek saglabāts, ja tas dod mazāku mērķa funkcijas vērtību.

2.5. Mutācijas operators iedarbojas ar mazu varbūtību uz jaunieģūtajiem binārajiem kodiem. Operators ar mazu varbūtību izmaina bināro koda attiecīgo ciparu no 0 uz 1 vai

otrādi, tādējādi iegūstot jaunu optimizējamo parametru vērtību, kura tiek saglabāta tikai tad, ja tā dod mazāku mērķa funkcijas vērtību, tādā veidā novēršot lokāla optimuma atrašanos.

2.6. – 2.8. Eksportēšana uz ANSYS programmu, aprēķina veikšana un rezultātu iegūšana MATLAB vidē GA funkcija ģenerē populācijas paaudzi un izsauc mērķa funkciju. Mērķa funkcija piešķir ģenerētās vērtības plātnes apšuvumiem un ribojumam katra izvēlēta punkta vērtību aprēķināšanai tiek izveidots ievades faila kods ANSYS ADPL valodā [17] un izsaukta ANSYS funkcija. ANSYS funkcija ar izmainītajiem apšuvumu un ribojuma ģeometriskajiem parametriem speciāli uzrakstītajā ANSYS makrokomandā, izsauc ANSYS teksta režīmā, palaiž makrokomandu, saņem no ANSYS plātnes deformējamības raksturotājiem un nosūta rezultātus mērķa funkcijai, kas savukārt tos nosūta GA. Pēc iegūtajiem rezultātiem GA ģenerē nākamo populācijas paaudzi utt.

2.9. Beigas - GA izmanto dažādus apstāšanās kritērijus: vai nu ir sasniegts maksimālais paaudžu skaits, vai ir sasniegts aprēķina laika limits, vai mērķa funkcijas vērtība labākajam punktam pašreizējā populācijā ir mazāka vai vienāda ar uzdoto, vai arī vidējās svērtās mērķa funkcijas vērtību maiņa ir mazāka vai vienāda ar uzdoto [1]. Optimizācijas rezultātā iegūst optimālās apšuvumu un ribojuma ģeometrijas vērtības. Lai gan mērķa funkcijas uzlabojumu katrai nākamajai paaudzei ir grūti pierādīt matemātiski, viss process konverģē uz optimālu mērķa funkcijas vērtību. Ja gadījumā tiek izveidota kāda “slikta” kopa, tad tā ar reprodukcijas operatoriem tiek izslēgta nākamajā paaudzē.

Piedāvātā aprēķina metodika ir universāla, kas balstīta uz Ģenētisko Algoritmu un Mākslīgo Neironu Tīklu un to var izmantot, optimizējot plaša spektra konstrukcijas elementus, lai iegūtu labākas to īpatnējās stiprības, stinguma rādītājus, siltumvadītspējas, rukuma, uzbriešanas, skaņas izolācijas īpašības.

3. Aprēķinu metodikas pielietošanas piemērs

Materiālu īpašību raksturotājlielumu ievadīšana

Deformatīvie raksturotājlielumi plātnes elementu (apšuvumu un ribojuma) materiāliem bērza saplāksnim, priedes distancējošo līstu u.c.

1. tabula. Materiālu īpašības

	Apzīmējums*	Bērza saplāksnis [14]	Priedes zāgmateriāls [15]
Elastības modulis garenvirzienā (GPa)	E_x	9,75	12,30
Elastības modulis tangenciālā virzienā (GPa)	E_y	8,14	0,70
Elastības modulis radiālā virzienā (GPa)	E_z	8,14	0,58
Puasona koeficients xy	μ_{xy}	0,390	0,037
Puasona koeficients yz	μ_{yz}	0,460	0,790
Puasona koeficients xz	μ_{xz}	0,390	0,030
Bīdes modulis xy plaknē (GPa)	G_{xy}	0,750	0,800
Bīdes modulis yz plaknē (GPa)	G_{xz}	0,100	0,010
Bīdes modulis xz plaknē (GPa)	G_{yz}	0,172	1,230
Blīvums (kg/m ³)	ρ	700	500

* - x virziens - ārējās lobskaidas šķiedru orientācijas virziens, y virziens perpendikulāri ārējo lobskaidu virzienam un z virziens perpendikulārs loksnes plaknei. Puasona koeficientiem indeksi norāda plakni, kurā mērītas deformācijas, ja spēks ir pielikts perpendikulāri šai plaknei.

Līmes slāņa vidējais bīdes robežstiprības lielums ir 7,11 MPa un līmes slāņa nobīde pie maksimālo spriegumu sasniegšanas – 0,12 mm. Līmes slāņa vidējais stiepes robežstiprības lielums – 3,39 MPa un līmes slāņa atvērums pie maksimālo spriegumu sasniegšanas – 0,10 mm [16].

Piemērā aplūkots gadījums slogojot līdz izlieces lielumam 1/200 no plātnes laiduma [10,11,12].

Plātnes ģeometrisku parametru definēšana

Plātnes izmērī izvēlēti vadoties pēc LVS EN 789:2000 standarta. Biezums 50 mm (atbilstoši plauktu dizainam), plātnes garums 1200 mm (attālums starp balstiem 1100 mm) un platums 300 mm. Ribas tiek orientētas pa plātnes garumu salīmētas savā starpā un pielīmētas pie augšējā un apakšējā apšuvuma.

Optimizējamo parametru definēšana

Optimizācijas mērķis ir noteikt racionālus plātnes struktūras elementu ģeometriskos izmērus pie iepriekš uzdotas plātnes lieces nestspējas. Izgatavošanas tehnoloģisko principu [8] ievērošanas vienkāršošanai viļņotās sloksnes biezums 4,0 mm un distancējošo līstu

platums ir 20 mm. Racionāli struktūras elementu ģeometriskie izmēri plātnei ar iepriekš uzdotu biezumu, bet platumu un garumu pieņemtu atbilstoši LVS EN 789:2000, definējas ar četriem parametriem, un optimizācijas problēma ir maksimizēt mērķa funkciju $\frac{EI}{masa}(t_a = t_u, b_r, t_{sr}, l_w(n_w))$, kur:

t_a un t_u – augšējā un apakšējā apšuvuma biezumi (3,0...15,0);

b_r – šūnu tipa dobās ribas platums (37,5...150);

t_{sr} – šūnu tipa dobās ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezums (3,0...15,0);

l_w (n_w) – šūnu tipa dobās ribas viļņotās daļas viļņa garums (vai viļņu skaits pa laidumu); (2...6);

Optimizācijai izmanto programmatūras MATLAB rīku GA Toolbox [2]. Ar MATLAB programmēšanas vidē izstrādāto speciālo programmu, aprēķinātas mērķa funkcijas izmantojot uzģenerēto ANSYS programmas kodu plātnes deformējamības aprēķiniem. Optimizācijas algoritms (1. attēls) MATLAB vidē realizēts ar trim funkcijām: galveno funkciju, mērķa funkciju un ANSYS izsaušanas funkciju.

Plātnes ar šūnu tipa dobām ribām struktūras elementu racionālie izmēri

Optimizācija ar GA veikta ar 5 paaudzēm, populācijas lielums – 50 gadījumi, no kuriem nākamās populācijas veidošanai izvēlēti 5 labākie varianti (10%), katru reizi veicot nepieciešamo aprēķinu, izsaucot ANSYS programmu, pie dotās krustošanās un mutāciju varbūtības (attiecīgi 0,7 un 0,001). Starprezultātus viennozīmīgi parādīt nevar, jo sākotnējā uzģenerētā populācija katrai šī uzdevuma risināšanas reizei būs atšķirīga, GA nejausi izvēlēta. Optimizācijas rezultātā iegūts, ka, lai nodrošinātu plātnes lieces nestspēju 3 kN, racionālie izmēri ir: apšuvumu biezums 4,0 mm, šūnu tipa taisno daļu veidojošās sloksnes biezums 6,5 mm un šūnu tipa dobās ribas platums 75 mm ar 4 viļņiem pa plātnes laidumu un distancējošo līstu platumu 20 mm.

4. Īpatnējās lieces nestspējas vērtību noteikšana ribojumam ar tipiskākajām ģeometrisko parametru vērtībām

No plātņu izgatavošanas viedokļa pie tehnoloģiski ērtiem tipiskākajiem plātnes struktūras elementu ģeometriskajiem izmēriem (apšuvumu biezums 4,0 mm, šūnu tipa dobās ribas platums 60 mm, ribas taisno daļu veidojošās sloksnes biezums 6,5 mm, ribas viļņoto daļu veidojošās sloksnes biezums 4,0 mm ar 4 viļņiem pa plātnes garumu, un distancējošo līstu biezums 20 mm) dažādu biezumu plātnēm tiek noteiktas lieces nestspēja vērtības pēc lietojamības robežstāvokļa (izliece nepārsniedz 1/200 no attāluma starp

plātnes balstiem) divu koncentrētu slodžu gadījumam (vadoties pēc LVS EN 789:2000), no kurām savukārt aprēķina plātnes īpatnējo lieces nestspēju (nestspēju uz masas vienību).

4. tabula. Plātnes īpatnējās lieces nestspējas vērtības ribojumam ar tipiskākajām ģeometrisko parametru vērtībām (Četru punktu liece atbilstoši LVS EN 789:2000)

Plātnes biezums	Īpatnējā lieces nestspēja	
	Garenvirzienā kN/kg	Šķērsvirzienā kN/kg
25 mm	0,20	0,12
30 mm	0,28	0,16
50 mm	0,69	0,31
100 mm	1,99	0,68
150 mm	3,23	0,96

Eksperimentāli pārbaudītas plātnes ar biezumu 50 mm un analītiski noteiktas īpatnējās lieces nestspējas vērtības gan garenvirzienā (0,66 kN/kg), gan šķērsvirzienā (0,30 kN/kg) rezultātu atšķirība neliela (skatīt tabulu 4).

5. Literatūra

1. MathWorks. MATLAB User's manual. What Is the Genetic Algorithm. – MathWorks, 2011.
2. Chipperfield A., Fleming P., Pohlheim H., Fonseca C. Genetic Algorithm Toolbox. For Use with MATLAB. Version 1.2. – Sheffield: University of Sheffield, 1994. – 105 p.
3. Alizadeh S., Shamsadini M. Genetic Algorithms// International Journal of Computer Science and Network Security. – 2011. – Vol.11 No. 4. – pp. 74–76.
4. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning. -USA: Addison-Wesley, -1989. –432 p.
5. Rao S.S. Engineering Optimization. Theory and Practise 4th ed. New Jersey: John Willey & Sons Inc, -2009. –813 p.
6. ANSYS Mechanical APDL Theory Reference ANSYS, Inc. Release 15.0 November 2013 Southpointe USA
7. ANSYS Mechanical APDL Element Reference November 2013 Southpointe USA

8. K.Rocēns, Ģ.Frolovs, A.Kukule, J.Šliseris. Ribotas kompozītplātnes ar centrālo gofrēto slāni uz koksnes bāzes izgatavošanas paņēmieni un iekārta. LV 15083A, 20.12.2015. LV patentu valde oficiālais vēstnesis, 1749 lpp.
9. LVS EN 789:2000 Koka konstrukcijas - Testa metodes - Koksnes plātņu mehānisko īpašību noteikšana
10. LVS EN 1990:2006/A1:2008/AC:2016 0. Eurokodekss. Konstrukciju projektēšanas pamatprincipi
11. LVS EN 1991-1-1:2006 L 1. Eurokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām.
12. LVS EN 1995-1-1+AC+A1:2012 L 5. Eurokodekss: Koka konstrukciju projektēšana.
13. G.Frolovs, K.Rocens, J.Sliseris. Comparison of a load bearing capacity for composite sandwich plywood plates. „Environment. Technology. Resources”, Rīga, Latvia, 30.09-02.10.2015, Vol I, 39-45 lpp.
14. Saplākšņa rokasgrāmata, Rīga: Latvijas Finieris, 2005.
15. Pereligin L.M., Ugolev B.N. Koksnes zinātne (kr. valodā).- Maskava: Lesnaja promislennostj 1971. -386 lpp.
16. 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.
17. Valsts pētījumu programmas “Inovātīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (IMATEH)” 4. projekta “Slāņains koksnes kompozītmateriāls ar racionālu struktūru un palielinātu īpatnējo lieces nestspēju” 1. nodevums “Lieces nestspējas noteikšanas metodika plātnēm ar šūnu tipa dobām ribām”.