

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte

Būvniecības un rekonstrukcijas institūts

Jānis ŠLISERIS

Doktora studiju programmas „Būvniecība” doktorants

**NETRADICIONĀLI KOKSNES KOMPOZĪTU KONSTRUKCIJU
ELEMENTI UN TO APRĒĶINU METODIKAS**

Būvzinātņu nozare, Būvkonstrukciju apakšnozare (promocijas padome „RTU P-06”)

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr. habil. sc. ing., profesors

K.ROCĒNS

Rīga 2013

UDK 624.016(043.2)

Šl 506 n

Šliseris J. Netradicionāli koksnes kompozītu konstrukciju elementi un to aprēķinu metodikas. Promocijas darba kopsavilkums. –Rīga: RTU, 2012. -32 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Būvniecības un rekonstrukcijas institūta 2012. gada 23. novembra lēmumu, protokols Nr. 03/12.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Viena no nozīmīgākajām mūsdienu problēmām ir neatjaunojamo dabas resursu aizstāšana ar atjaunojamiem. Izmantojot materiālus, kuru iegūšanā ir nepieciešami atjaunojamie enerģijas resursi, būtiski veicina ilgtspējīgu dabas resursu izmantošanu.

Lai varētu racionāli izmantot dabas resursus, konstrukcija un tajā izmantojamie materiāli ir jāprojektē vienlaicīgi. Ir nepieciešams pārzināt materiāla ar noteiktām īpašībām projektēšanas pamatprincipus un ierobežojumus. Konstrukcijas elements ar nesimetriskas vai simetriskas struktūras saplākšņa ribojumu attiecībā pret tā vidusplakni paver iespēju veidot materiālu ar vēlamām stiprības, stinguma, siltumvadītspējas un higroskopiskām īpašībām. Iteratīvi un mērķtiecīgi mainot materiāla īpašības un konstrukcijas ģeometriju, balstījumu, iespējams harmonizēt materiāla pretestības un konstrukcijas piepūļu laukus, tādējādi palielinot īpatnējo konstrukcijas nestspēju, samazinot siltumvadītspēju un mitruma izraisītās rukuma, uzbriešanas deformācijas.

Būvniecībā koka konstrukciju elementus visvairāk izmanto jumta konstrukcijās. Tās ir darbietilpīgas, jo nav industriālas, unificētas. Šo trūkumu var novērst, izstrādājot netradicionālu koksnes kompozīta konstrukcijas elementu. Mašīnbūvē bieži izmanto standarta saplākšņa loksnes, uz kurām iedarbojas specifiskas slodzes, radot nevienmērīgu konstrukcijas piepūļu lauku, kas nav harmonizēts ar materiāla pretestības lauku. Tādējādi rodas nepieciešamība izstrādāt netradicionālu kompozīta konstrukcijas elementu, kas atšķiras no tradicionāli lietotiem ar palielinātu īpatnējo nestspēju, mainīgu stingumu un tā aprēķina metodiku. Nepieciešams parādīt izstrādāto konstrukcijas elementu priekšrocības, izmantojot tos transportlīdzekļa slodzi nesošai daudzslaidumu plātnei ar divām kustīgām slodzēm un ēku jumtu trīsstūrveida trīslocītku telpisku arku industriālām konstrukcijām.

Darba mērķis un uzdevumi

Izstrādāt izgatavošanas paņēmiena pamatprincipus un aprēķinu pamatmetodikas netradicionāliem, paaugstinātas īpatnējās nestspējas koknes kompozīta konstrukcijas elementiem ar plakanas un izliektas formas saplākšņa ribojumu, kā arī saplākšnim ar mainīgu ārējo lobskaidu orientāciju.

Mērķa sasniegšanai nepieciešams atrisināt šādus uzdevumus:

1. Izstrādāt metodiku ribojumā izmantojamo liekto saplākšņa lokšņu, kam ir nesimetriska (nebalansēta) struktūra pret to vidusplakni, izgatavošanas un ekspluatācijas mitruma satura, termiskās apstrādes laika un temperatūras, kā arī struktūras projektēšanai, un veikt šīs metodikas konceptuālu, eksperimentālu validāciju.

2. Izstrādāt aprēķinu metodiku racionālu ģeometrisku parametru noteikšanai ribota saplākšņa konstrukcijas elementam ar vienā virzienā orientētām ribām un, pielietojot šo metodiku, trīslaidumu plātnei ar divām kustīgām slodzēm aprēķināt racionālu apšuvuma lokšņu un ribu biezumu, ribojuma orientāciju un intensitāti.

3. Izstrādāt konstruēšanas pamatprincipus un aprēķinu pamatmetodikas netradicionālam mainīga stinguma kompozītam konstrukcijas elementam ar izliektām un plakanām ribām, paaugstinātu īpatnējo nestspēju, samazinātām rukuma/uzbrīšanas deformācijām un samazinātu siltumvadītspēju. Izstrādāt metodiku ārējo lobskaidu racionāla orientācijas leņķa noteikšanai paaugstinātas īpatnējās nestspējas saplākšņa loksnei ar mainīgu stingumu un, izmantojot izstrādāto metodiku, noteikt racionālu ārējo lobskaidu orientācijas leņķus vienlaiduma un trīslaidumu plātnēm pie vienmērīgi izkliedētas slodzes.

4. Noteikt lieces un bīdes stinguma atkarību no netradicionāli ribota saplākšņa kompozīta konstrukcijas elementa ribojuma struktūras, ģeometriskajiem parametriem, un, pielietojot šo informāciju, noteikt racionālu ribojumu diskreti mainīga stinguma ribotai saplākšņa plātnei ar plakanas un izliektas formas ribām, kā arī novērtēt šīs konstrukcijas darbu pie mitruma izmaiņas lokālā plātnes apgabalā.

5. Parādīt izstrādātās aprēķinu metodikas izmantošanas iespējas trīslaidumu plātnei pie dažādām slodžu kombinācijām un trīsstūrveida trīslodzes telpiskas arkas konstrukcijai, nosakot ribotas saplākšņa plātnes racionālu ribojumu, un veikt konceptuālus eksperimentus rezultātu validācijai.

Aizstāvēšanai izvirzīts/izvirzīta:

1. Aprēķinu pamatmetodika un tās eksperimentāla validācija lobskaidu orientācijas leņķu, termiskās apstrādes temperatūras un laika noteikšanai nesimetriskas struktūras saplākšņa loksņēm, kuras veido ribojumu.
2. Aprēķina pamatmetodika racionāla ribojuma un ārējo lobskaidu orientācijas leņķa noteikšanai saplākšņa kompozīta konstrukcijas elementam, izmantojot nesimetriskas vai/un simetriskas struktūras saplākšņa loksnes un, ja nepieciešams, putu pildījumu, nodrošinot palielinātu īpatnējo nestspēju.
3. Trīsstūrveida trīslocītklu telpisku arku racionāls ēkas jumta tipveida konstrukcijas elements un trīslaidumu plātņveida konstrukcijas elements, un konceptuāla to ribojuma, kurš noteikts ar izstrādāto metodiku, eksperimentāla skaitlisko rezultātu validācija.

Zinātniskā novitāte

Izstrādāti pamatprincipi nesimetriskas struktūras saplākšņa lokšņu projektēšanai, nosakot racionālus lobskaidas orientācijas leņķus, kondicionēšanas režīmu, nesimetriskās struktūras lokšņu termiskās apstrādes temperatūru un laiku. Veikta eksperimentāla svarīgāko iegūto rezultātu validācija.

Pirmo reizi izstrādāta aprēķina metodika, kas rada iespēju projektēt ribotus saplākšņa plātņveida konstrukcijas elementus ar palielinātu īpatnējo nestspēju, samazinātām mitruma izraisītām rukuma/uzbrīšanas deformācijām un siltumvadītspēju, un atsevišķos gadījumos diskreti mainīgu iekšējo struktūru vai ārējo lobskaidu orientācijas leņķi, tā nodrošinot paaugstinātu īpatnējo nestspēju.

Veikta koksnes kompozīta konstrukcijas elementa modeļa eksperimentāla pārbaude liecē un parādītas pielietošanas iespējas izstrādātajai aprēķina metodikai, nosakot racionālu ribojumu trīslaidumu plātnei ar divām kustīgām slodzēm.

Veikta ēkas jumta kompozītā konstrukcijas elementa modeļa eksperimentāla pārbaude un parādītas pielietošanas iespējas izstrādātajai aprēķina metodikai, nosakot racionālu saplākšņa ribojumu ēku jumtu trīsstūrveida trīslocītklu telpisku arku tipveida kompozītam konstrukcijas elementam.

Praktiskais nozīmīgums

Radīta iespēja atjaunojamā dabas resursa koksnes produktu- saplākšņa un citu materiālu efektīvākai izmantošanai plātņveida kompozītā konstrukcijas elementā, harmonizējot materiāla pretestības lauku un konstrukcijas piepūļu laukus, kas paver iespēju projektēt paaugstinātas īpatnējās nestspējas konstrukcijas elementus ar samazinātām mitruma izraisītām rukuma, uzbriešanas deformācijām un samazinātu siltumvadītspēju.

Izstrādātais saplākšņa elementu ribojums ir ar lielāku telpisko stingumu, salīdzinot ar tradicionāli lietotiem ribojumiem, un lobskaidu specifiskā orientācija dod iespēju būtiski samazināt rukuma/uzbriešanas deformācijas, salīdzinot tās ar tradicionāliem saplākšņa lokšņu konstrukcijas elementiem.

Pētījuma ierobežojumi

Izstrādātās mainīga stinguma plātnes ir racionālas tikai aprēķinā izmantojamajām slodžu kombinācijām un balstījuma veidam. Piedāvātā aprēķinu metodika ir spēkā gadījumos, kad maksimālie spriegumi nepārsniedz aprēķina pretestību vai pārvietojumus, kurus limitē otrais robežstāvoklis.

Aprēķini un eksperimenti veikti, izmantojot statistiskas slodzes. Izstrādātajā metodikā koksne makrostruktūras līmenī tiek modelēta kā ortotropas materiāls. Mitruma difūzijas aprēķinos pieņemts, ka notiek tikai saistītā mitruma difūzija loksnes transversālajā virzienā. Ribota saplākšņa kompozītmateriāla aprēķinos pieņemts, ka ribojums ir pietiekami intensīvs, lai nenotiktu lokāls apšuvumu un ribojumu veidojošo lokšņu noturības zudums.

Pētīšanas metodika

Nesimetriskās struktūras lokšņu aprēķini, kuri balstīti uz šajā darbā izstrādāto metodiku, tika veikti ar komerciālu galīgo elementu programmu Ansys un ar speciāli izstrādātu programmu *Matlab* vidē, kurā izmantotas slāņainu materiālu mehānikas nostādnes. Mitruma difūzija modelēta, izmantojot Fika likumu, ar galīgo diferenču metodi.

Darbā izstrādātajai aprēķina metodikai plātņveida konstrukcijām ar diskrēti mainīgu stingumu optimālu lieces un bīdes stingumu noteikšanai tika izveidota speciāla aprēķinu datorprogramma *Matlab* vidē, kuras pamatā ir galīgo

elementu metode un mērķa funkcijas- minimāla padevīguma un spriegumu lauka atšķirības, maksimālā gradienta optimizēšanas algoritms. Ribojuma ģeometrisku parametru ietekmes noteikšanai uz plātnes nestspēju izstrādātajā metodikā izmantota komerciālā galīgo elementu programma *Ansys*, kurā parametriskā veidā izveidota programma. Racionāla ribojuma noteikšanai tika izveidota programma *Matlab* vidē. Šī programma izmanto Ģenētiskā algoritma un Mākslīgā Neironu Tīkla iebūvētās funkcijas. Šajā programmā papildus iestrādātas speciālas procedūras, kas izmanto galīgo elementu programmas *Ansys* aprēķinu rezultātus.

Saplākšņa ar mainīgu stingumu ārējo lobskaidu orientācijas leņķa optimizācijai izstrādāta speciāla aprēķina programma, kas balstīta uz galīgo elementu metodi un konstrukciju topoloģijas optimizāciju.

Aprēķinu rezultāti tika validēti, pārbaudot samazināta izmēra konstrukcijas elementa modeļus- nesimetriskas struktūras saplākšņa lokšņu darbu pie mitruma iedarbes, ribota saplākšņa konstrukcijas elementa darbību liecē un divslīpu jumta konstrukcijas darbību pie vienmērīgi izkliedētas slodzes.

Pētījuma teorētiskais un metodoloģiskais pamats

Darbā izmantotas šādas inženierzinātņu sadaļas:

- Kompozītu materiālu mehānika;
- Būvmehānika;
- Koksnes zinātne;
- Būvkonstrukcijas;
- Siltuma un mitruma apmaiņas matemātiskā modelēšana;
- Konstrukciju un konstrukciju topoloģijas optimizācija.

Darbā iegūtie galvenie rezultāti publicēti šādās publikācijās:

a) Zinātniskos žurnālos:

1. Šliseris J., Rocens K. Curvature Analysis for Composite with Orthogonal, Asymmetrical Multi-Layer Structure // Journal of Civil Engineering and Management. -2010. -Vol. 16. -No. 2. -pp 242-248. (žurnāls citēts datubāzēs: SCOPUS, EBSCO u.c.)
2. Šliseris J., Rocēns K. Optimization of multispan ribbed plywood plate macro-structure for multiple load cases // Journal of Civil Engineering and Management. -2012. Pieņemta publicēšanai. (žurnāls citēts datubāzēs: SCOPUS, EBSCO u.c.)

3. Šliseris J., Rocens K. Optimal design of composite plate with discrete varying stiffness // Composite Structures. -2013, -Vol. 98. -pp 15-23. (žurnāls citēts datubāzēs: SCOPUS u.c.)
 4. Šliseris J., Rocens K. Rational Structure of Panel with Curved Plywood Ribs // World Academy of Science, Engineering and Technology, special journal Issue. – 2011. –Nr. 0076. –pp 317-323. (žurnāls citēts datubāzēs: SCOPUS, EBSCO u.c.).
- b) RTU zinātnisko rakstu krājumā:**
5. Šliseris J., Rocens K. Curvature analysis for asymetrical multi-layer composite // Construction Science. -Rīga: RTU, 2009. -Nr. 10(2). -pp 139-146. (žurnāls citēts datubāzēs: EBSCO, CSA/ProQuest, VINITI).
 6. Šliseris J., Rocēns K. Non-Uniform Distribution of Moisture Influence on Shape of Plywood Sheet // Construction Science. -Rīga: RTU, 2010. – Nr. 11. - pp 56-65. (žurnāls citēts datubāzēs: EBSCO, CSA/ProQuest, VINITI).
 7. Šliseris J., Rocens K. Experimental and numerical investigation of plywood panel with curved ribs// Construction Science. -Rīga: RTU, 2012. Pieņemta publicēšanai. (žurnāls citēts datubāzēs: EBSCO, CSA/ProQuest, VINITI).
- c) Konferenču rakstu krājumos:**
8. Šliseris J., Rocēns K. Non-uniform moisture influence on multilayer corrugated plywood shell// 9th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland, May 29- June 2, 2011. –Vol. 2. -pp 723-730.
 9. Šliseris J., Rocens K. Behaviour of multilayer sheet with technological imperfection // 10th International conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques". -Vilnius: VGTU, 2010. -pp 793-798.
 10. Šliseris J., Rocēns K. Influence of technological and structure properties on shape of asymmetric plywood sheet // International Scientific Conference "Civil engineering `11". Jelgava: LLU, May 12-13, 2011. –Vol. 3. -pp 131-136. (rakstu krājums citēts datubāzēs: SCOPUS, EBSCO u.c.).
 11. Šliseris J., Rocens K. Flexural Plates With Heterogeneous In-Plane Stiffness // 15th European Conference On Composite Materials. Venice, Italy, 24-28 June 2012. -pp 1-7.
- d) Citas publikācijas:**
12. Šliseris J., Rocēns K. The Future Of Plywood Production. Furniture Design And Manufacturing Asia, Solid Wood & Panel Technology, November/December 2011. -pp 28-31
 13. Šliseris J., Rocēns K. Koksnes materiālu un plastmasu spriegumu un deformāciju aprēķina pamati (Mācību metodiskie norādījumi). -Rīga:RTU, 2010. -74 lpp.

Promocijas darba rezultāti ziņoti šādās starptautiskās un vietējās zinātniskās konferencēs:

1. Šliseris J., Rocēns K. Experimental and numerical investigation of plywood panel with curved ribs// Riga Technical University 53rd International Scientific Conference, Riga, Latvia, 11-12 October, 2012.
2. Šliseris J., Rocēns K. Plates And Shells With Discrete Varying Optimal Stiffness. Mechanics of Nano, Micro and Macro Composite Structures, Politecnico di Torino, 18-20 June 2012.
3. Šliseris J., Rocēns K. Flexural Plates With Heterogeneous In-Plane Stiffness. 15th European Conference On Composite Materials, Venice, Italy, 24-28 June 2012.
4. Šliseris J., Rocēns K. Residual Stress In Moisture Sensitive Lamina. 17th International Conference- Mechanics Of Composite Materials, May 28-June 1, 2012, Riga, Latvia.
5. Šliseris J., Rocēns K. Rational topology of plywood composite macro-structure. OAS 2011, August 25-27, 2011 Tartu, Estonia
6. Šliseris J., Goremikins V., Rocēns K. Some rational structures and macrostructures of composites. Aleksandrs Malmeisters memorial symposium „Actual problems in the mechanics of heterogenous materials”, October 20-23, 2011, Riga, Latvia.
7. Šliseris J., Rocēns K. Rational structures of wood composite. RTU 52nd International scientific conference. 13 October, 2011, Riga.
8. Šliseris J., Rocēns K. Topology optimization of plywood composite. RTU 52nd International scientific conference. 13 October, 2011, Riga.
9. Šliseris J., Rocēns K. Racionālas koksnes kompozītmateriāla makro-struktūras. Apvienotais Pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress „Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte” Rīgā, 2011. gada 24.-27. Oktobrī.
10. Šliseris J., Rocēns K. Non-uniform moisture influence on multilayer corrugated plywood shell. 9th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland, May 29- June 2, 2011.
11. Šliseris J., Rocēns K. Influence Of Technological And Structure Properties On Shape Of Asymmetric Plywood Sheet. International Scientific Conference "Civil engineering `11", Jelgava, Latvia, May 12-13, 2011.
12. Šliseris J., Rocēns K. Rational Structure of Panel with Curved Plywood Ribs. ICBSE 2011 : "International Conference on Building Science and Engineering" Venice, Italy, April 27-29, 2011.
13. Šliseris J., Rocēns K. Mainīga mitruma ietekme uz koksnes plātņu formu. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija, 2010.gada 11.-15.oktobris.

14. Šliseris J., Rocēns K. Lokālu mitruma izmaiņu ietekme uz spriegumstāvokli izliktā koksnes plātnē. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija, 2010.gada 11.-15.oktobris.
15. Šliseris J., Rocēns K. Curvature analysis for composite with orthogonal, asymmetrical multi-layer structure. International conference "Stability and Ductility of Structures". September 24-26, 2009, Vilnius Gediminas Technical University.
16. Šliseris J., Rocēns K. Curvature analysis for asymmetrical multi – layer composite. Rīgas Tehniskās universitātes 50. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 2009.gada 14.-16. oktobrī.
17. Šliseris J., Rocēns K. Lokālu mitruma izmaiņu ietekme uz spriegumstāvokli izliktā koksnes plātnē. 51. RTU Studentu zinātniskā un tehniskā konference, 2010, 11.-15. oktobris, Rīga.
18. Šliseris J., Rocēns K. Līmētu izliktu lokšņu formas prognozēšanas modelis. 50. RTU Studentu zinātniskā un tehniskā konference. 2009, 6.maijs, Rīga.

Darba oriģinalitāti apliecina Latvijas Republikas patents B32B3/12, Nr. P-12-52: Rocēns K., Šliseris J., Vērdiņš G. „Slāņains kompozīts ar šūnu tipa dobām ribām uz koksnes materiālu bāzes”.

Darba aktualitāti apliecina autora Hirša indekss 3.0.

DARBA SATURS

Darbs sadalīts 6 nodaļās. Pirmajā nodaļā dots literatūras apskats, izvirzītie darba mērķi un atrisināmie uzdevumi. Otrajā nodaļā analizētas mitruma izraisītās deformācijas nesimetriskas struktūras saplākšņi, noteikti racionāli to izgatavošanas svarīgākie tehnoloģiskie parametri. Trešajā nodaļā izstrādāta optimizācijas metodika ribota saplākšņa kompozītmateriālam ar vertikālām, plakanām ribām, un veikta trīs laidumu plātnes ģeometrisku parametru optimizācija. Ceturtajā nodaļā aprakstītas izstrādātās metodikas mainīga stinguma plātņu stingumu un ārējo lobskaidu orientācijas leņķu optimizācijai, tipiskākajiem gadījumiem veikta optimizācija. Piektajā nodaļā aprakstīta izstrādātā aprēķina metodika racionāla ribojuma noteikšanai un doti daži piemēri. Sestajā nodaļā veikta konstrukcijas optimizācija tipiskākajiem gadījumiem būvniecībā un mašīnbūvē, kā arī veikta svarīgāko aprēķinu rezultātu eksperimentāla validācija.

Pirmā nodaļa.

Saplākšņa loksnes tiek pilnvērtīgāk izmantota koksne, jo lobīšanas procesā nerodas skaidas, turklāt materiāla īpašību izkļedes ir mazākas, kā tas ir dabīgai koksnei.

Loksnes ar simetrisku, jeb balansētu struktūru tiek veidotas izmantojot šādu lobskaidu orientāciju $[0^\circ/90^\circ \dots 90^\circ/0^\circ]$. Nesimetriskas struktūras loksnes tiek iegūtas, ja pret vidusplakni nav: simetriska lobskaidu orientācija, simetriski lobskaidu biezumi, simetriskas lobskaidu mehāniskās īpašības, mitruma saturs.

Nesimetriskas struktūras saplākšņa lokšņu deformēšanās prognozēšana ir sarežģītāka nekā simetriskā loksņēm. Piemēram, pie aksiālas stiepes loksne var savērtties, vai arī tai var būt negatīvs Puasona koeficients. Taču tās paver iespēju iegūt liektas formas čaulas, izmantojot standarta preses ar plakaniem plauktiem. Izliekti ieliektās vai cilindriskās čaulas var izmantot kā plātņu ribojumu vai nosedzošas konstrukcijas liellaidumu pārsegumiem, kā arī mēbeļu rūpniecībā.

Plānu saplākšņa lokšņu (loksnes biezuma un īsākas malas attiecība ir 1/20 vai mazāka) aprēķinos, lietojot klasisko teoriju, tiek izmantotas Kirhofa hipotēzes.

Tā kā saliecot nesimetriskas struktūras saplākšņu loksnes ar mitruma satura izmaiņu, to pārvietojumi un deformācijas var būt ievērojami lielas, līdz ar to, akurātai matemātiskai modeļēšanai ir nepieciešams ņemt vērā ģeometriskās nelinearitātes. Izšķir divu veidu ģeometriskās nelinearitātes. Pirmā veida nelinearitātes rodas no lielām deformācijām, bet otrā veida no lieliem

pārvietojumiem, pagriezienu leņķiem. Nesimetriskas struktūras saplākšņa loksņem nepieciešams ņemt vērā abu veidu nelinearitātes.

Spriegumus un deformācijas ribotai saplākšņa plātnei var rēķināt homogenizējot vidējo riboto slāni t.i. piešķirot tam attiecīgas deformatīvās īpašības un aprēķināt izmantojot slāņainu materiālu teoriju. Aprēķinu pamatā ir sendviču konstrukcijās lietotās teorijas. Ja nepieciešams augstākas precizitātes aprēķins, tad ribotā struktūra ir jārēķina kā konstrukcija, izmantojot slāņainu čaulu teoriju.

Risinot tehnoloģiska tipa uzdevumus par nebalansēta saplākšņa izgatavošanu, nepieciešamas ievērtēt saistītā mitruma difūziju ar Fika likumu un temperatūras vadīšanu ar Furjē likumu. Daudzos gadījumos nepieciešams ievērtēt koksnes materiāla nelineārās īpašības, kuras var būtiski ietekmēt deformāciju aprēķina rezultātus.

Konstrukcijās parasti veidojas nevienmērīgs piepūļu lauks, kas izsauc nepieciešamību novērtēt konstrukciju vietas, kurās nepieciešams vairāk koncentrēt materiālu un kurās mazāk, harmonizējot konstrukcijas pretestības lauku ar piepūļu lauku. Izotropiem materiāliem ērti izmantot klasisko konstrukciju topoloģijas optimizācijas metodiku, taču koksnes kompozītmateriālu gadījumā nepieciešams izstrādāt speciālu metodiku.

Otrā nodaļa.

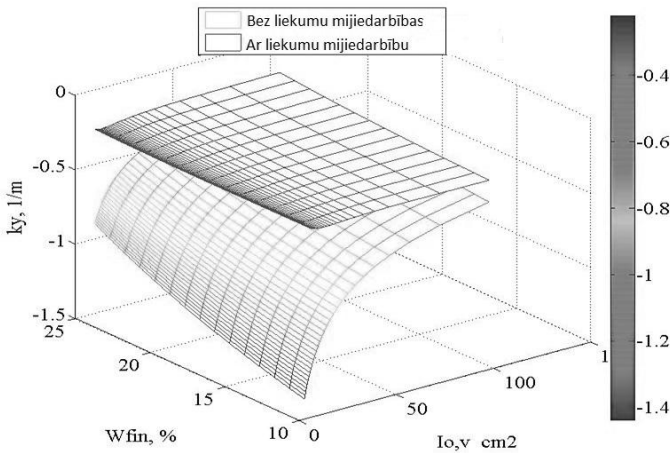
Ribotām saplākšņa plātnēm izdevīgi lietot liektas formas ribas, kas būtiski uzlabo plātņu telpisko noturību un stiprību virzienā, kas perpendikulārs ribu virzienam. Tehnoloģiski liektu saplākšņu ribu izgatavošanu var būtiski atvieglot, veidojot ribas no nesimetriskas struktūras saplākšņa un saliecot, izmantojot mitruma starpību starp ekspluatācijas un izgatavošanas mitruma saturiem.

Šajā nodaļā aprakstīts izstrādātais modelis lokšņu deformāciju prognozēšanai, ņemot vērā ģeometrisku nelinearitāti un elastīgo raksturlielumu maiņu mainoties mitruma saturam koksnē, kā arī racionāls lokšņu lobskaidu izvietojums, kondicionēšanas režīms un eksperimentālas izgatavošanas procesa pārbaudes.

Ģeometriskā nelinearitāte rodas no tā, ka loksnei liekšanās procesā palielinās tās stingums un tiek apgrūtināta tālāka liekšanās pretējā virzienā. Materiāla nelinearitāti nepieciešams ņemt vērā, jo koksnei būtiski mainās mehāniskās īpašības, mainoties tās mitruma saturam.

Izstrādātais aprēķina modelis sastāv no algoritma, kurš ir balstīts uz vienu ciklu ar N iterācijām. Cikls ar N iterācijām sadala kopējo mitruma pieaugumu N daļās un katrā iterācijā sarēķina jaunās elastīgo konstanšu matricas, kuras ir atkarīgas no mitruma un deformāciju izmaiņām. Atbilstoši katrā ciklā iegūtajām matricām, tiek atrisināts deformēšanās vienādojums un iegūts deformāciju vektors. Tālāk tiek pārveidoti iegūtie liekumi k_x un k_y , pareizinoš tos ar inerces momentu nedeformētam stāvoklim un pretējā virziena izliektā stāvokļa inerces momentu dalījumu. Pārveidotā deformāciju matrica tiek pieskaitīta kopējo deformāciju matricai.

Aprēķinātie loksnes liekumi var būt vairākas reizes mazāki, ja tiek ņemta vērā ģeometriskā nelinearitāte- liekumu mijiedarbība (skat. 1.att.).



1.att. Lielākā liekuma k_y maiņa atkarībā no beigu mitruma satura W_{fin} un plakanas loksnes inerces momenta $I_{0,v}$ pie mitruma izmaiņas 4%.

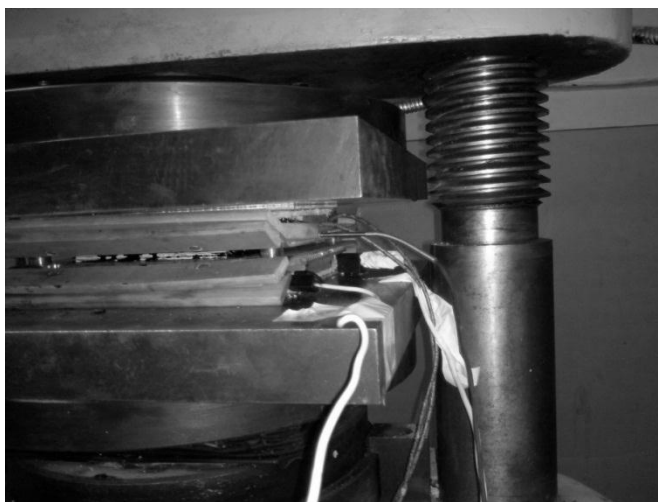
Spriegumu pārdalīšanās un šķūdes efektu ievērtēšanai tiek izmantots tipiskā ķermeņa vienādojums. Tiek izdarīts pieņēmums, ka deformācijas pa loksnes biezumu sadalās lineāri, līdz ar to ir nepieciešami vēl 2 vienādojumi, kurus iegūst sastādot spēku un momentu līdzsvara vienādojumus.

Praktiski lielu nozīmi ieņem cilindrisku čaulu iegūšana, no kurām var veidot ribotas saplākšņa struktūras.

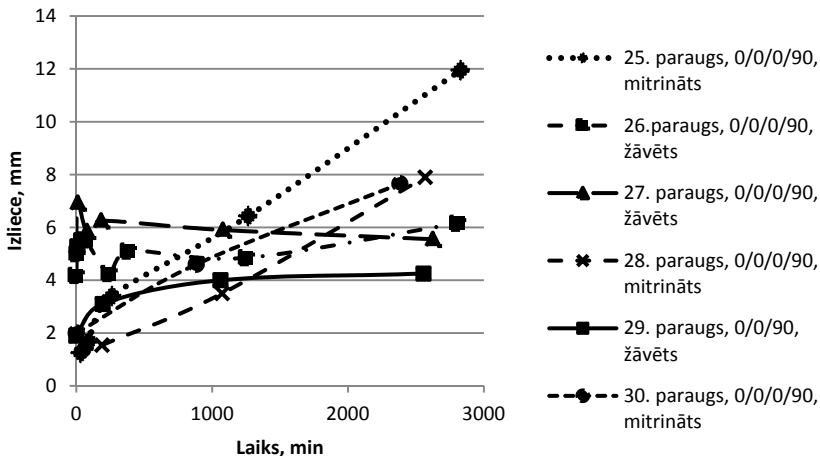
Cilindrisku čaulu ar maksimāli lielu liekumu iespējams iegūt, ja loksne veidota ar ortogonālu struktūru $[0/90]$ un šķērsslāņu kopējais biezums h_1 ir

ievērojami mazāks par garenslāņu biezumu h_2 . Aprēķini parāda, ka lielāko izliekumu iegūst, ja garenslāņu un šķērsslāņu biezumu attiecība ir 5.

Eksperimentāli tika izgatavotas nesimetriskas struktūras saplākšņa loksnes un noteiktas to deformāciju un mitruma satura izmaiņa laikā. Paraugu izgatavošanā tika izmantota gan prese ar apsildāmiem plauktiem (skat. 2. att.), gan prese bez apsildāmiem plauktiem. Izgatavoto paraugu deformācijas tika prognozētas arī ar galīgo elementu metodi, un rezultāti parādīja labu sakritību (atšķirība mazāka par 10%) pie maziem un vidēji lieliem izliekumiem (kad izliece mazāka par 1/25 no malas garuma). Turpretī pie lieliem izliekumiem šī atšķirība dažkārt sasniedz pat 30%, kas skaidrojama ar lobskaidas nelineārajām materiāla īpašībām pie lieliem spriegumiem. Lielākas loksnes mitruma izraisītās deformācijas var iegūt, ja pirms salīmēšanas lobskaidas tiek mitrinātas līdz mitruma saturam, kas nepārsniedz aptuveni 23% (atkarīgs no izmantojamās līmes). Izlieču izmaiņas grafiks mitrinātām un žāvētām loksņēm parādīts 3. att.

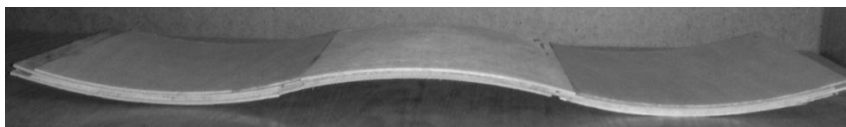


2. att. Loksnes ar nesimetrisku struktūru presēšana-līmēšana presē ar apsildāmiem, plakaniem plauktiem.



3. att. Iepriekš mitrinātu un žāvētu paraugu izlieces maiņa laikā.

Veicot aprēķinus, noteikts, ka optimālais loksnes kondicionēšanas laiks ir vidēji 1 diennakts. Lai saglabātu loksnes formu, nepieciešams veikt termisko apstrādi pie temperatūras ap 140...150 °C. Eksperimenti parāda, ka optimālais karsēšanas laiks ir 2.5 līdz 3 stundas. Izlieču izmaiņas jutīgums pret mitruma izmaiņu ir samazinājies par 45%, ja tiek karsēts 2.7 stundas pie T=140...150 °C, salīdzinot ar loksni bez termiskās apstrādes.



4. att. Eksperimentāli izgatavotais paraugs ar viļņotu formu.

Eksperimentāli tika izgatavotas četru slāņu bērza saplākšņa loksnes ar viļņotu formu (skat. 4. att.), kuras var izmantot par ribojumu.

Saplākšņa mitruma difūzijas koeficienta noteikšanai izstrādāta iteratīva metode. Veicot aprēķinus, nosaka mitruma saturu loksnes N punktos pa tās biezumu un maina mitruma difūzijas koeficientu tā, lai minimizētu starpību starp vidējo aprēķināto mitruma saturu m_i un eksperimentāli noteikto $m_{i,eksp}$:

$$\min_D \sum_{i=1}^N (m_i(D) - m_{i,eksp})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

Trešā nodaļa.

Mašīnbūvē tiek plaši izmantotas saplākšņa daudzslāņainu plātnes, uz kurām darbojas kustīgās-statiskas slodzes. Piemēram, uz auto treileru grīdas konstrukciju darbojas divas kustīgās slodzes, kuras rodas no auto iekrāvēja priekšējiem riteņiem. Tradicionālai saplākšņa loksnei šādā konstrukcijā veidojas bojājumi vairāk noslogotajās vietās.

Racionāls šķērsriezums ribotai plātnei ar iepriekš uzdotu biežumu tiek definēts ar četriem parametriem $x = \{t_1, t_2, t_3, n\}$, kur n - plātnes ribu kopējais skaits (skat. 6. att.). Saplākšņa kompozītmateriāla konstrukcijas elementa šķērsriezuma ģeometriskie parametri tiek optimizēti izmantojot šādu, speciāli izstrādātu algoritmu:

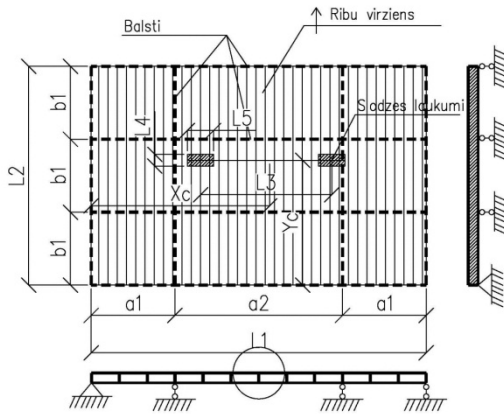
1. Nodēfīnē galvenos plātnes parametrus- platumu L_1 , garumu L_2 , attālumu starp balstiem b_1, a_1, a_2 , kopējo plātnes biežumu t , slodzes laukumu izmērus L_4, L_5 un slodzes lielumu Q uz katra slodzes laukuma.
2. Nosaka virzienu, kurā nepieciešams orientēt ribas (parasti īsākā laiduma virzienā), veicot iekšējo piepūļu aprēķinu plātnei ar vienmērīgi izkliedētu slodzi.
3. Nosaka visbīstamāko novietojumu slodžu laukumiem (X_c, Y_c) , kas izraisa maksimālos spriegumus un izlieci, veicot aprēķinus pēc raksturīgākajām slodžu kombinācijām.
4. Nosaka racionālus šķērsriezuma ģeometriskos parametrus $x = \{t_1, t_2, t_3, n\}$, dažāda izmēra plātnēm pie vairākiem slodžu līmeņiem, izmantojot pielāgotu Ģenētisko Algoritmu.
5. Izvēlas racionālu Mākslīgo Neironu Tīklu un tā arhitektūru un veic Mākslīgo Neironu Tīkla trenēšanu, izmantojot iepriekšējā solī iegūtos datus.
6. Testā Mākslīgo Neironu Tīklu, un nosakot vai tas var noteikt optimālus ģeometriskos parametrus ar nepieciešamo precizitāti.
7. Lieto Mākslīgo Neironu Tīklu optimālu ribotu saplākšņa konstrukcijas elementu projektēšanā.

Algoritmā lietotais ģenētiskais algoritms ir balstīts uz dabiskās ģenētikas un dabīgās atlases principiem- izdzīvo labākais un piemērotākais konkrētiem apstākļiem. Algoritmā tiek izmantoti dabiskās ģenētikas pamatoperātori- reprodukcija, krustošanās un mutācijas.

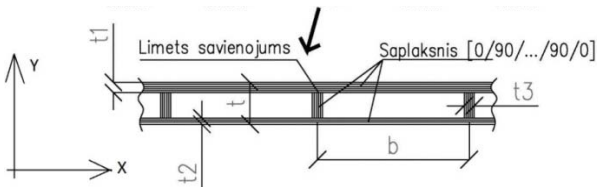
Šim uzdevumam piemērotākais ir trīsslāņu uz priekšu orientēts Mākslīgo Neironu Tīkls. Šim konkrētā uzdevuma optimāls neironu skaits ir 20. Neironu Tīkls tiek trenēts izmantojot Levenberga- Marquarda algoritmu un optimālais trenēšanas piegājienu skaits ir 7.

Optimizācijā tika izmantoti šādi stiprības ierobežojumi-spiegumi spiestajā apšuvumā, spriegumi stieptajā apšuvumā, bīdes spriegumi saplākšņa ribās, bīdes spriegumi līmes šuvē, lokālās lieces izraisītie spriegumi spiestajam apšuvumam.

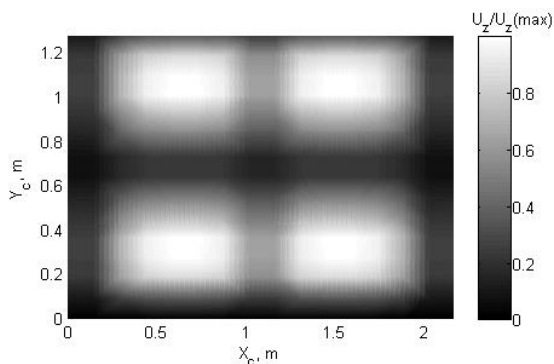
7.att. un 8. att. parādītas maksimālās- relatīvās deformācijas un spriegumi plātnē, atkarībā no slodžu laukumu novietojuma. Izmantojot šo informāciju, nosaka neizdevīgāko slodžu izvietojumu. Izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku noteikti racionāli šķērsgriezuma ģeometriskie parametri plātnēm ar garumu no 1.5m līdz 3m, platumu no 0.75 līdz 1.5m un biezumu no 30 līdz 60 mm, pie četrām kustīgo slodžu vērtībām – 2, 2.5, 3 un 3.5 tonnas.



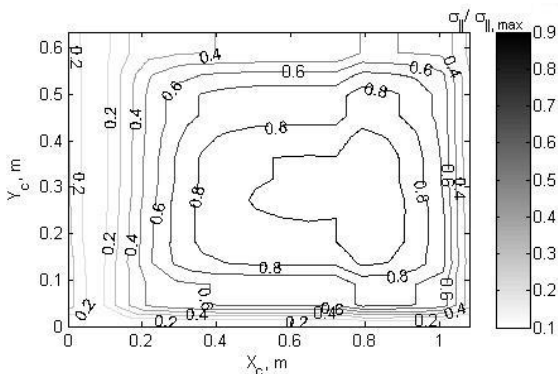
5.att. Tipveida auto treilera grīdas loksnes shēma



6. att. Tipveida auto treilera grīdas loksnes šķērsgriezums.



7.att. Maksimālās-relatīvās izlieces atkarība no slodžu laukumu centra koordinātēm (X_c , Y_c).



8. att. Ceturtdaļplātnes maksimālo-relatīvo normālspriegumu, kas paralēli koksnes šķiedrām, atkarība no slodžu laukuma centra koordinātēm.

Ceturtnā nodaļa.

Plātņveida konstrukcijas elementos, kas darbojas uz lieci, pat pie vienmērīgi izkliedētas slodzes veidojas nevienmērīgs piepūļu lauks, kas izsauc nepieciešamību harmonizēt to ar materiāla pretestības lauku, veidojot plātņi, kurai dažādās vietās būtu dažādi lieces un bīdes stingumi abos galvenajos virzienos. Šajā nodaļā tiks aprakstīta aprēķina metode optimālu stinguma noteikšanai un tā

diskretizēšanai, nosakot optimālu diskrētu stinguma sadalījumu, kas būtiski atvieglo šādu plātņu izgatavošanu. Tiks piedāvāt metode ārējo lobskaidu orientācijas leņķa optimizācijas mainīga stinguma saplākšņa plātnēm. Tiks noteikts optimāls stinguma sadalījums vienlaiduma un daudzlaiduma plātnēm ar vienmērīgi izkliedētu slodzi un kustīgām koncentrētām slodzēm.

Optimālu stinguma sadalījumu otrotropai plātnei var definēt ar 5 neatkarīgām funkcijām $x = (x^1, x^2, x^3, x^4, x^5)$ katrā galīgajā elementā, kuras tiek lietotas lai noteiktu lieces stinguma matricas koeficientus.

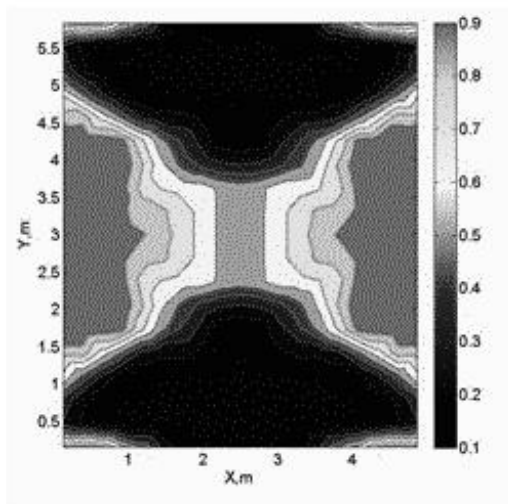
Optimizācijā mērķa funkcija $C(x)$ sastāv no divām daļām. Pirmā daļa ir nepieciešama, lai minimizētu normalizēto konstrukcijas padevīguma funkciju $c(x)$ un otrā daļa, lai minimizētu normalizētā spriegumu lauka atšķirības $\sigma(x)$. Minimizēta padevīguma funkcijas (*compliance function*) vērtība nodrošina konstrukcijai maksimizētu stingumu. Minimizētas normalizētā spriegumu lauka atšķirības nodrošina to, ka plātnei spriegumu sadalījums pa tās laukumu ir maksimāli vienmērīgs. Optimizācijas uzdevums risināts ar metodi, kuras pamatā ir funkcijas gradienta analīze.

Tehnoloģiski ir grūti izgatavot nemainīga biezuma ribotu plātņi ar nepārtraukti mainīgu stingumu. Tādēļ izstrādāta speciāla metode, kā izmantojot datus par optimālu nepārtrauktu stinguma sadalījumu, plātņi sadalīt diskrētos apgabalos, kur katra apgabala robežās plātnei ir nemainīgs stingums.

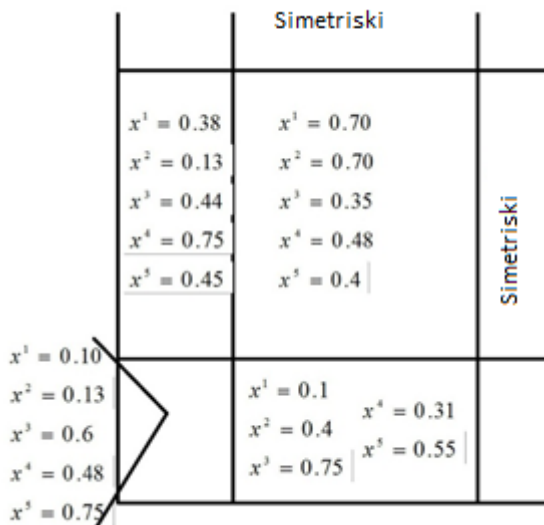
Izstrādātās metodes pamatā ir minimizācijas uzdevuma atrisināšana, kurā tiek minimizēta vidējā kvadrātiskā atšķirība starp nepārtrauktā stinguma sadalījuma funkcijām $X^j(y_1, y_2)$ un diskrēti mainīgā stinguma sadalījuma funkcijām \bar{X}_i^j katrā no diskrētajiem apgabaliem

Optimizācijas problēma ar ierobežojumiem tiek risināta ar Ģenētisko Algoritmu, tādēļ tā tiek pārveidota par bezierobežojumu optimizācijas problēmu, izmantojot soda funkciju pieeju.

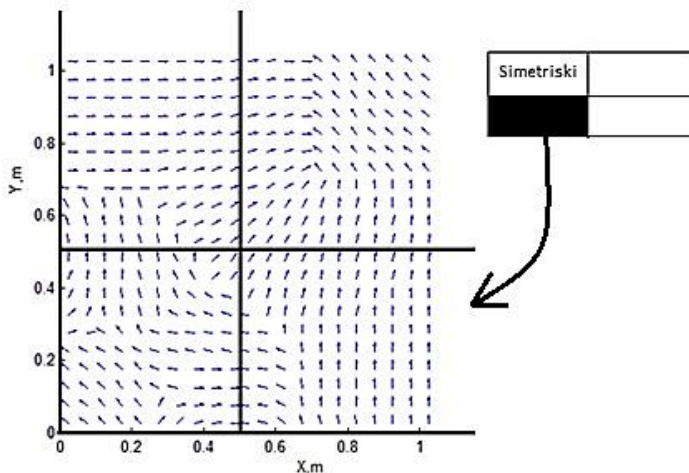
Tā piemēram pa kontūru brīvi balstītai plātnei ar vienmērīgi izkliedētu slodzi, optimālais bīdes stinguma sadalījums x ass virzienā parādīts 9.att., bet diskrēti mainīga stinguma sadalījumi parādīti 10.att. (simetrijas dēļ parādīta ceturtda daļa, melnās līnijas nosaka diskrēto apgabalu robežas). Brīvi balstītai plātnei padevīgumu iespējams samazināt līdz 35%, bet galveno sprieguma komponentu atšķirības līdz 10%.



9.att. Optimāla bīdes stinguma D_{44} sadalījuma funkcija x^4 .



10.att. Lieces un bīdes stinguma sadalījuma koeficienti diskreti optimizētai plātnei (simetrijas dēļ parādīta ceturtdaļa).



11. att. Optimāla ārējo šķiedru orientācija trīslaidumu plātnei ar laidumiem 0.5(m), 1.1(m) un 0.5 (m) abos virzienos (simetrijas dēļ parādīta tikai ceturtdaļa- kreisais apakšējais stūris, biezās melnās līnijas norāda balstus).

Dažkārt liektām plātnēm ir racionāli optimizēt ārējo lobskaidu orientāciju, jo tās vistiešākajā veidā ietekmē plātnes stingumu un stiprību. Izstrādāta speciāla metodika, kuras pamatā ir konstrukcijas padevīguma minimizācija, piemeklējot optimālāko ārējo lobskaidu orientācijas leņķi attiecīgos punktos (katra galīgā elementa centrā).

Algoritms sastāv no trim cikliem. Ārējais cikls tiek izpildīts līdz brīdim, kad konverģences kritērijs tiek apmierināts (kritēriji var būt dažādi, piemēram, konstrukcijas kopējais padevīgums vairs būtiski nemainās). Vidējā ciklā tiek aplūkoti visi galīgie elementi no 1 līdz Ne (kopējais galīgo elementu skaits). Iekšējā ciklā tiek pārbaudīta konstrukcijas uzvedība, ja attiecīgajā apgabalā tās ārējām lobskaidā ir kaut kāda noteikta, diskrēta, slāņu orientācijas leņķa vērtība. Visu ciklu iekšienē ir speciāla procedūra $R(x)=x_j$, kas apgabalā ar centru j -tajā galīgajā elementā un rādiusu R_{inf} izmaina pašreizējos orientācijas leņķus uz x_j . Ciklu iekšienē tiek veikts galīgo elementu aprēķins, kā arī pēc iegūtajiem rezultātiem izskaitļots kopējais konstrukcijas padevīgums $C(i,j)$ (indeksi norāda i -to galīgo elementu un j -to diskrēto slāņu orientācijas leņķa vērtību). Galīgo elementu aprēķinā izmantoti 4 mezglu taisnstūra galīgie elementi, kas balstīti uz Kirhofa-Lova lineāro teoriju. Lobskaida tiek uzskatīta par ortotropu, lineāri elastīgu slāni.

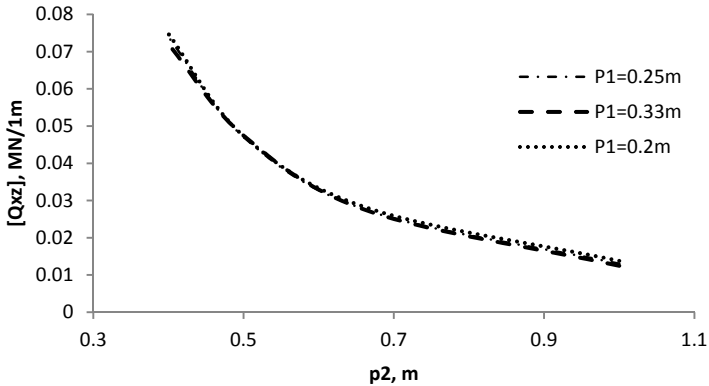
Piemēram, 11. att. parādīta optimāla ārējo lobskaidu orientācija 19 slāņu bērza saplāksnim. Skaitliskie eksperimenti parāda, ka, ja tiek optimizēts tikai viens abējais slānis, tad izliece samazinās par 14%, bet ja divi ārējie slāņi, tad izliece samazinās par 20%. Gadījumā, kad tika optimizēti trīs ārējie slāņi, tad izlieču samazinājums vairs būtiski nepieauga

Piektā nodaļa.

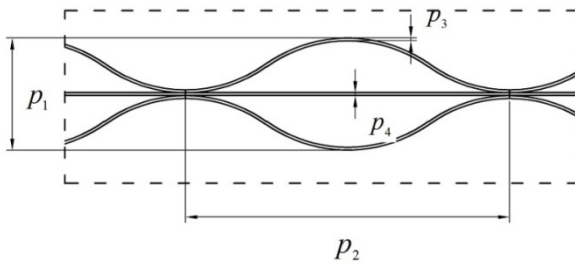
Plātnei ar diskrēti mainīgu ribojumu nepieciešams katrā diskrētajā apgabalā noteikt nepieciešamā ribojuma un apšuvumu biežumus un citus parametrus, tā lai tas varētu uzņemt maksimālās piepūles katrā apgabalā. Katrā apgabalā jānosaka struktūra, kuras nestspēja- maksimālās piepūles, kuras var uzņemt attiecīgā struktūra, ir pēc iespējas tuvākas ārējo slodžu radītajam piepūļu laukam.

Plātnei racionāli ģeometriskie parametri (skat. $p = p(p_1, p_2, \dots, p_n)$) tiek noteikti minimizējot funkcionāli, kas sastāv no starpības starp maksimālajām piepūlēm ko var uzņemt konstrukcija un faktiski esošajām piepūlēm katrā no diskrētajiem apgabaliem. Katrai piepūlei tiek ņemts vērā svara- būtiskuma koeficients, turklāt tā vērtība būtiski tiek palielināta, ja faktiskā nestspēja ir mazāka par nepieciešamo, kas ļauj izvairīties no šāda gadījuma.

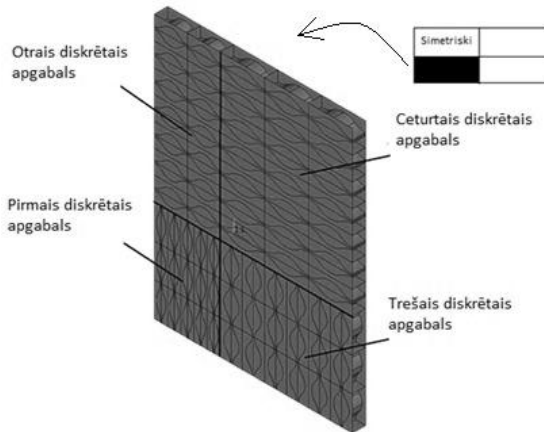
Piemēram, 12.att. parādīta maksimāla šķērsspēka vērtība perpendikulāri ribu garenvirzienam, ko var uzņemt konstrukcija, pie dažādiem ribu tipveida elementu platumiem p_1 un garumiem p_2 . Ribojuma garenvirzienu, intensitāti un ģeometriju katrā no diskrētajiem apgabaliem nosaka optimizācijas ceļā. Piemēram, pa kontūru balstītai plātnei ar vienmērīgi izkliedētu slodzi racionālais ribojums parādīts 14. att.



12.att. Maksimālais šķērsspēks Q_{xz}^{max} (perpendikulāri ribu garenvirzienam), ko var uzņemt plātne, atkarībā no ribu formas.



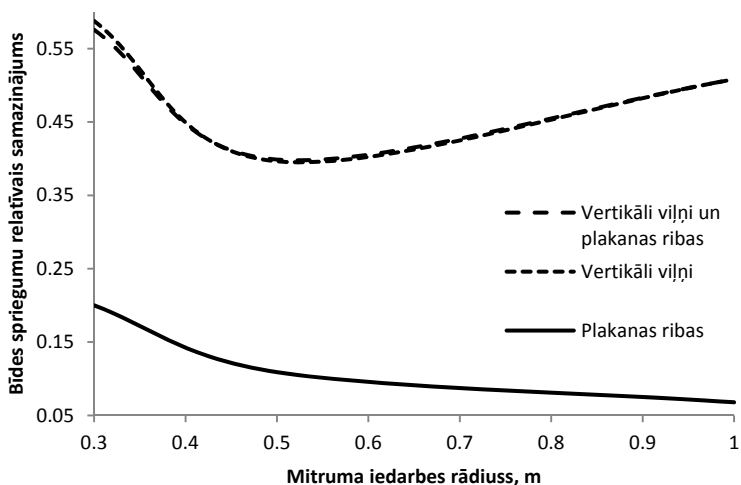
13.att. Ribojuma struktūras tipveida elements ar plakanām un liektām ribām.



14. att. Aprēķinātais optimālais ribojums plātnei ar diskrēti mainīgu struktūru (simetrijas dēļ parādīta 4 daļa no plātnes- kreisais apakšējais stūris).

Aprēķini parāda, ka taisnstūra formas pa kontūru balstītai plātnei pie vienmērīgi izkliedētas slodzes iespējams palielināt stingumu par 50%, lietojot diskrēti mainīgu iekšējo struktūru. Plātnei ar nepārtraukti mainīgu struktūru šis palielinājums pie plātnes malas garuma un platuma attiecības 1 ir 60%.

Veicot skaitliskus eksperimentus tika noskaidrots, kādu ietekmi uz konstrukcijas darbu atstāj lokāla mitruma izmaiņa kādā konstrukcijas apgabalā, kas var rasties no nekvalitatīva vai bojāta virsmas aizsargslāņa. Aprēķinā tika aplūkota taisnstūra formas plātne, pa vidu apgabalā ar noteiktu rādiusu mainās koksnes mitruma saturs par 1 %. Tika salīdzināti četri konstrukcijas varianti- plātne ar plakanām ribām, plātne ar liektām un plakanām- vertikālām ribām, plātne ar liektām-vertikālām ribām un plātne ar liektām horizontālām ribām. Iegūtie rezultāti parādīja, ka vislielākie papildus spriegumi rodas plātnē ar liektām-horizontālām ribām. Ja lieto plātņi ar liektām vertikālām ribām, tad bīdes spriegumi samazinās līdz pat 50% (skat. 15. att.).

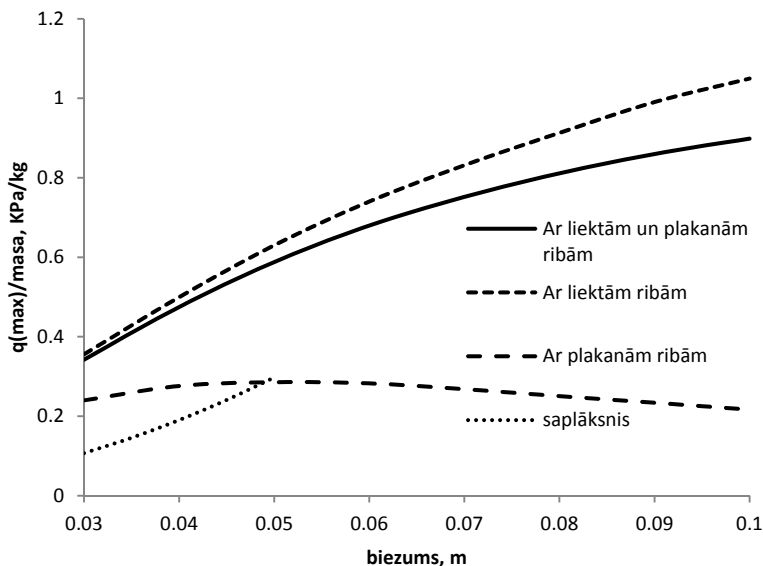


15. att. Bīdes spriegumu samazinājums, plātnei ar dažādām ribām, salīdzinot ar plātņi, kurai ir liektas- horizontālas ribas.

Sestā nodaļa.

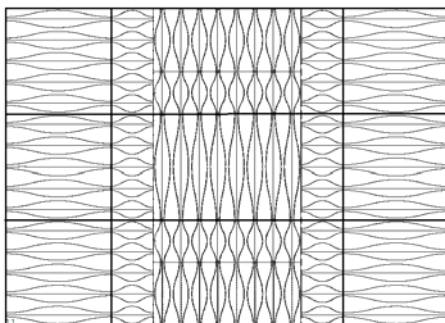
Šajā nodaļā tiks salīdzinātas plātnes ar diskrēti mainīgu, racionālu ribojumu, vienmērīgu ribojumu un standarta saplākšņa plātne no īpatnējās nestspējas viedokļa. Tiks aplūkota transportlīdzekļa daudzslāidumu plātne ar divām kustīgām slodzēm, kā arī ribotas plātnes un spāru konstrukcijas ēku jumtu trīsstūrveida trīslocīklu telpisku arku industriālām konstrukcijām.

Lai noskaidrotu ribojuma darbu liecē galvenajos virzienos, tika skaitliski pētīta īpatnējā nestspēja galos balstītai plātnei ribojuma garenvirzienā un šķērsvirzienā. 16.att. parādīta īpatnējā nestspēja ribojuma garenvirzienā plātnēm ar dažādiem ribojumiem un standarta saplākšnim.

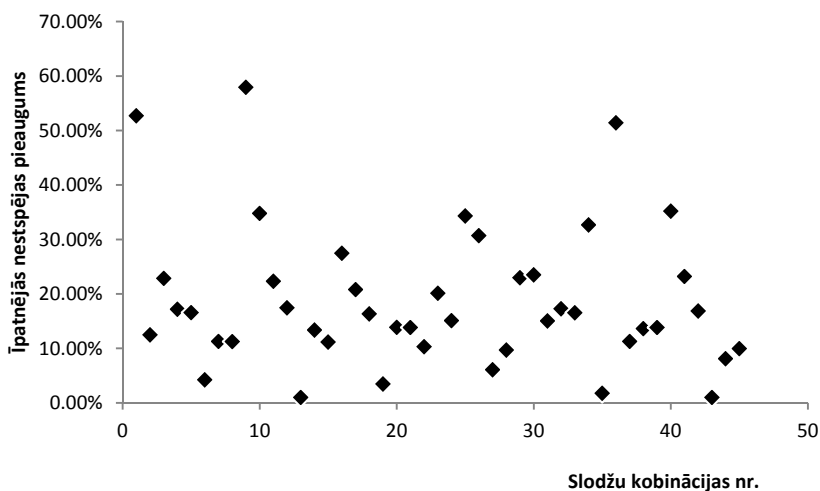


16.att. Īpatnējās nestspējas, no maksimālo izlieču viedokļa $\frac{f}{L} = \frac{1}{200}$, salīdzinājums brīvi balstītai plātnei ar laidumu 1.1 m un dažādiem biežumiem, ja liece notiek ribojumu šķērsvirzienā.

Izmantojot izstrādāto stingumu sadalījuma un ribojuma noteikšanas metodiku, tika noteikts racionāls ribojums (skat. 17.att.) auto treilera grīdas konstrukcijai- trīs laidumu plātnei ar divām kustīgām slodzēm. Tā kā uz plātņi darbojas kustīgas slodzes, nepieciešams analizēt visas raksturīgākās slodžu kombinācijas. Tika analizēti gadījumi, kad divas slodzes novietojas laidumu viduspunktos, kas kopā dod 45 dažādas slodžu kombinācijas. Plātnei ar diskrēti mainīgu stingumu ir būtiski lielāka īpatnējā nestspēja, kā standarta risinājumam – 30 mm biezs saplāksnis. Piemēram 50 mm bieza racionāli ribota plātne ar diskrēti mainīgu stingumu uzrāda vidējo īpatnējās nestspējas pieaugumu par 20%, bet plātnei ar vienmērīgu ribojumu šī pieaugums ir divas reizes mazāks.

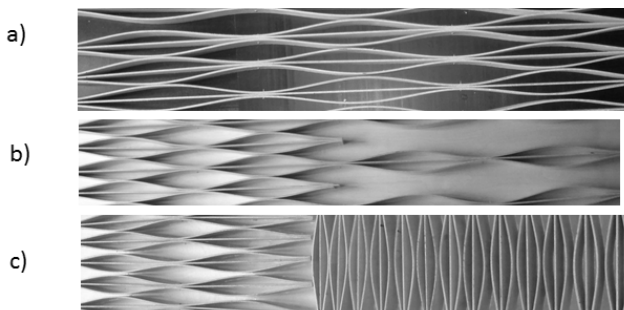


17.att. Diskrēti mainīgs ribojums plātnei.



18.att. Īpatnējās nestspējas pieaugums 50 mm biežai saplākšņa loksnei ar racionālu, diskrēti mainīgu ribojumu salīdzinot ar standarta risinājumu.

Lai pārbaudītu aprēķina modeļu pareizību tika veikti lieces eksperimenti ribotām saplākšņa plātnēm ar vienmērīgu un diskrēti mainīgu ribojumu (skat. 19.att.). Iegūtie rezultāti parāda, ka ribu garenvirzienā aprēķinātie galvenie pārvietojumi no eksperimentāli noteiktajiem neatšķiras vairāk kā par 10%.



19.att. Pārbaudāmo paraugu ribojuma struktūras.

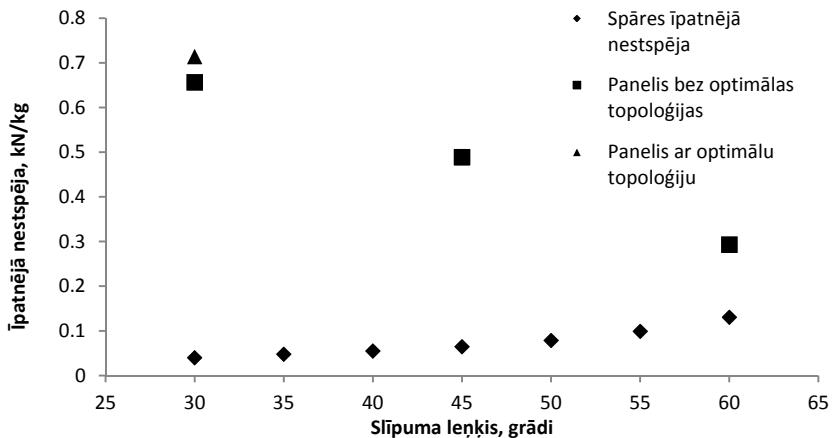
Būvniecībā koksnes konstrukcijas visvairāk izmantot jumta konstrukciju izbūvē, no kurām vispopulārākā ir divslīpu jumta konstrukcija, kur kā galvenais nesošais elements ir trīsstūrveida trīslocīklu telpiska arka. Šādas konstrukcijas tradicionāli veido no līmēta vai dabīga koka spārēm. Spāru konstrukcijas veidošana ir darbietilpīgs un neindustriāls process. Šajā nodaļā parādītas šādu konstrukciju veidošanas iespējas no ribotu saplākšņu plātnēm, kuras iepriekš izgatavotas rūpnīcā kā montāžas bloki ar siltumizolāciju un apšuvumiem.

Aplūkoti gadījumi, kad laidums ir no 5 līdz 10 m un jumta slīpuma leņķis no 30 līdz 60 grādiem, bet jumta pārkare 2m.

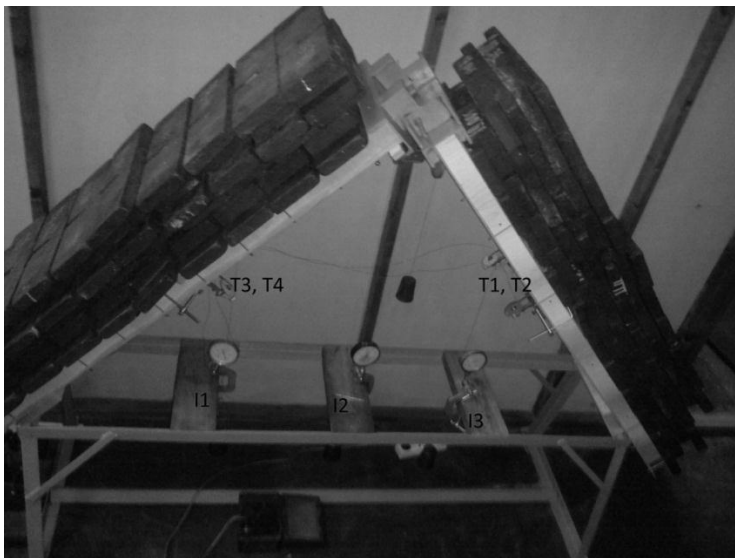
Veidojot ribotam panelim diskreti mainīgu, racionālu ribojuma struktūru-4 diskreti apgabali. Pie 30 grādu slīpuma leņķa un 8m laiduma, iespējams palielināt īpatnējo nestspēju par 12 % (skat. 20.att.) salīdzinot ar vienmērīgi ribotu paneli, bet līdz pat vairākām reizēm salīdzinot ar spāru konstrukciju.

Pie slīpuma leņķa, kas lielāks par 60 grādiem strauji samazinās īpatnējās nestspējas atšķirība starp ribotas plātnes un spāru konstrukcijām.

Aprēķinu rezultāti tika pārbaudīti samazinātam ēkas jumta trīsstūrveida trīslocīklu telpiskas arkas konstrukcijai. Modelim attālums starp balstiem 1710 mm, slīpuma leņķis 46.5 grādi, biezums 58 mm, platums 300 mm (skat. 21.att.). Starp aprēķinātiem un eksperimentāli noteiktiem pārvietojumiem pastāv laba sakritība. Piemēram, eksperimentāli noteiktās relatīvās deformācijas no aprēķinātajām neatšķiras vairāk kā par 10%.



20.att. Īpatnējās nestspējas salīdzinājums dažādām konstrukcijām, atkarībā no slīpuma leņķa pie 8m laiduma un vienmērīgi izklidētas slodzes.



21.att. Eksperimentālais modelis.

SECINĀJUMI

Piedāvātas ribotu struktūru no plakanas un izliektas formas ribojuma un slāņainu kompozītu plātņu, kurās vidējā kārta ir veidota no piedāvātās ribojuma struktūras, izgatavošanas paņēmieni un izstrādātas šo konstrukciju elementu, kā arī aplākšņa ar mainīgu ārējo lobskaidu orientāciju, aprēķinu pamatmetodikas.

- Mitruma izmaiņas izraisītie pārvietojumi slāņainā loksne ar nesimetrisku struktūru pret vidusplakni samazinās par 45%, veicot termisko apstrādi 2.5...3 stundas 145 °C temperatūrā, un pie šiem apstākļiem samazinās saistītā mitruma difūzijas koeficients loksnes transversālajā virzienā par 45%. Veidojot loksni ar ortogonālu, nesimetrisku struktūru un līmējot presē ar apsildāmiem, plakaniem plauktiem 100...110 °C tā iegūst maksimālo izliekumu pie minimālas mitruma izmaiņas, ja šķērsslāņu un garenslāņu biezumu attiecība ir 1/4...1/6, un tā tiek kondicionēta, pakāpeniski samazinot temperatūru un mitruma saturu vienas diennakts laikā, ko apliecina skaitliskie aprēķini.

- Speciāli pielāgota Ģenētiskā algoritma un procedūras, kas nosaka neizdevīgāko slodžu izvietojumu, ribu racionālu orientāciju, kā arī speciālu uz priekšu orientētu (*feed forward*) Mākslīgo Neironu Tīkla izmantošana, nodrošina racionālu plātņu šķērsriezuma ģeometrisku parametru prognozēšanu (korelācijas koeficients starp Mākslīgo Neironu Tīkla aprēķinātajiem parametriem un optimālajiem ir lielāks par 0.98), ko apliecina noteiktie racionālie aplākšņa kompozīta plātņu apšuvumu un ribu biezumi, un ribu izvietojuma intensitāte trīslaidumu plātnei, kurai laidumi īsākās malas virzienā ir vienādi, bet garākās malas virzienā to attiecība ir 1:2:1 pie plātnes biezuma no 30...60 mm un divām kustīgām slodzēm.

- Piedāvāto ribojuma veidu pielietošana un izstrādāto aprēķina metodiku izmantošana plātņu racionāla, nepārtraukta vai diskrēti mainīga lieces un bīdes stinguma sadalījuma noteikšanai, minimizējot konstrukcijas padevīgumu un spriegumu atšķirības konstrukcijā, nodrošina pa kontūru balsītas plātnes stinguma palielināšanos par 50% un spriegumu atšķirību samazināšanos par 10%, salīdzinot ar nemainīga stinguma plātņi. Trīslaidumu mainīga stinguma aplākšņa loksnei ar vienmērīgi izkliedētu slodzi stingums palielinās par 20%, bet vienlaiduma plātnei par 13%, salīdzinot ar standarta aplākšņa loksni, ja tiek optimizēts ārējo lobskaidu orientācijas leņķis, izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku.

- Plātnes ribojuma dimensijas un struktūra, kas noteiktas minimizējot atšķirību starp plātnes teorētisko nestspēju (lieces momentiem un šķērsspēkiem, ko var uzņemt plātne tās darbības galvenajos virzienos) un nepieciešamo nestspēju (faktiskajām piepūlēm attiecīgajā diskrētajā apgabalā), palielina diskrēti mainīga stinguma plātnes īpatnējo nestspēju līdz 50%. Nestspējas aprēķini diskrēti mainīga

stinguma saplākšņa plātnēm ar plakanas un izliektas formas ribojumu, kuru kopējais biežums ir 100, 150 un 200 mm, saplākšņa elementu standarta biežums no 6 līdz 20 mm, ribojuma tipveida elementa platums no 200 līdz 333 mm un garums no 400 līdz 1000 mm, parāda, ka, ņemot vērā spriegumu koncentrācijas, faktiskais īpatnējās nestspējas pieaugums ir 27% pa kontūru balstītai plātnei ar vienmērīgi izkliedētu slodzi. Ribotai saplākšņa plātnei ar plakanas un izliektas formas ribojumu lokālas mitruma izmaiņas izraisītie normālspriegumi ir par 15% mazāki kā plātnei ar ribojumu no horizontāliem viļņveida elementiem (*corrugated core*), bet bīdes spriegumi ir par 50% mazāki.

- Diskrēti mainīga stinguma, kas tiek panākts ar ribojuma orientāciju, intensitāti un ģeometriju, trīs laidumu plātnei ar divām kustīgām slodzēm īpatnējās nestspējas vidējais pieaugums ir 20%, ja plātnes biežums ir 40 mm, bet, ja ir vienmērīgs ribojums, tad tāda paša biežuma plātnei īpatnējās nestspējas vidējais pieaugums ir 8.5%, salīdzinot ar standarta 21 slāņa bērza saplākšni pie neizdevīgākajām slodžu kombinācijām. Eksperimentālas paraugu ar vienmērīgu un diskrēti mainīgu ribojumu pārbaudes liecē apliecina izvēlēto aprēķinu modeļu pareizību (svarīgākie izmēritie pārvietojumi neatšķiras vairāk kā par 15% no aprēķinātajiem).

- Piedāvāto plātņveida konstrukcijas elementu ar plakanas un izliektas formas ribojumu, pie jumta slīpuma leņķa 30° un laiduma 8 m diskrēti mainīgās struktūras izmantošana dod īpatnējās nestspējas palielinājumu par 12%, salīdzinot ar plātņi, kurai ir vienmērīgs ribojums, bet, salīdzinot vienmērīgi ribotu saplākšņa plātņi ar tipisku spāru konstrukciju, īpatnējā nestspēja pieaug vairākas reizes (piem. pie 8 m laiduma un 60° slīpuma leņķa īpatnējā nestspēja pieaug 2 reizes). Atšķirība starp būtiskākajiem teorētiski aprēķinātajiem pārvietojumiem un relatīvajām deformācijām elementos no eksperimentāli noteiktiem nepārsniedz 15%.

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013. gada 12. aprīlī, plkst. 14:15, Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16, sēžu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Prof., Dr.habil.sc.ing. Ivars Knēts, Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. Jūri Majak, Tallinas Tehnoloģiju universitāte

Dr.habil.sc.ing. Juris Jansons, Latvijas Universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Jānis Šliseris (paraksts)

Datums:.....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur darba vispārējo raksturojumu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 142 attēlus, kopā 165 lappuses. Literatūras sarakstā ir 127 vienības.