

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Giedrius Taujenis

ASIMETRIJOS ĮTAKA DAUGIASLUOKSNIŲ KONSTRUKCINIŲ
ELEMENTŲ STANDUMUI IR STIPRUMUI
Magistro darbas

Vadovas
prof. J. Bareišis

ŠIAULIAI, 2005

SUMMARY

Taujenis G. The influence of asymmetry on tightness and strength of constructional elements: Master thesis of mechanical engineer / research advisor prof. J. Bareišis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2005. – 54 p.

The aim of the paper is to analyse the consistent patterns of geometric centres, rigidity centres, distribution of the rigidity and strength of multilayer rods by changing the geometric characteristics of layers, the distribution of materials on the cross-section of structural element given asymmetric two-layer structures.

The dynamics of variation of geometrical and tightness centres, extreme to the bend of tightness and strength values of a two-layer rod was analysed in the work. Six structures were chosen and formed while point A was moving horizontally, vertically and diagonally.

The regularities of the position of neutral layers, the change of tightness to bend in asymmetric multilayer structural elements from the thickness of layers and the change of the modulus of the elasticity of materials forming them were analysed. The analysis was carried out using analytical terms.

There were set dependences describing the change of D_{\max} in asymmetrical two-layer rods, depending on ψ parameter. The intensity of change depends on the modulus of elasticity of the materials composing the layers.

The new scantling model of a multilayer rod was proposed (the form of its layers is polygonal, which does not constrict the generality as the sides of the polygons may be as small as possible). This model makes it possible to measure the tightness of the rod to bend in any direction as well as extreme values of tightness and the corresponding directions of neutral layers and the coordinates of geometrical and tightness centres.

It was estimated that the character of the curves of tightness and geometrical centres change and the dependence of discrepancy between those centres in relation K_x and K_y dependence of change depend on the type of two-layer construction, i.e. on the relationship of the position of the layers and the modulus of the materials composing the layers. The greatest differences between tightness and geometrical centres are when the parameter $\psi=0,2$.

A practical methodology of calculating the coordinates of geometrical and tightness centre is presented, the regularities of change of geometrical and tightness centres in two-layer asymmetrical constructions are analysed in the paper. The novelty of the work is reflected in the analysis of the influence of asymmetrical two-layer forming parameters to tightness and strength.

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1. DAUGIASLUOKSNĖS KONSTRUKCIJOS IR JŲ EFEKTYVUMAS.....	8
1.1. DKE bendroji charakteristika ir panaudojimas.....	8
1.2. DKE struktūra.....	9
1.3. Stiprumo ir standumo skaičiavimo būdai.....	11
2. DAUGIASLUOKSNIŲ SIJŲ (DS) SKAIČIAVIMO METODIKA ESANT LENKIMUI.....	18
2.1. Naudojamos prielaidos, medžiagos, konstrukcijos.....	18
2.2. Geometrinio ir standumo centro skaičiavimas.....	20
2.3. Standumo ir įtempimų skaičiavimas.....	20
3. DKE STANDUMO IR STIPRUMO TYRIMAS.....	22
3.1. Geometrinio ir standumo centrų padėčių tyrimas.....	22
3.1.1. Geometrinių ir standumo centrų padėties kitimas nuo sluoksnių storio.....	24
3.2. Daugiasluoksnės sijos standumo tyrimas.....	33
3.3. Daugiasluoksnės sijos stiprumo tyrimas.....	39
3.3.1. Normalinių įtempimų pasiskirstymas DKE skerspjūvyje.....	39
3.3.2. Sluoksnio storio įtaka įtempimams	40
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	42
LITERATŪRA.....	43
PRIEDAI.....	44

LENTELĖS

2.1. Medžiagų fizinės ir mechaninės savybės, kai $T=25^{\circ}\text{C}$	18
---	----

PAVEIKSLAI

1.1 pav. Daugiasluoksnis konstrukcinis elementas.....	9
1.2 pav. Simetrinių ir asimetrinių konstrukcinių elementų skerspjūviai.....	9
1.3 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvio formavimo metodika, naudojant funkcija $f(t)=t^m$	10
1.4 pav. Sija, sudaryta iš dviejų skirtingų medžiagų.....	12
1.5 pav. Kompozitas, orientuotas viena kryptimi.....	14
1.6 pav. Kampu orientuotas kompozitas.....	15
1.7 pav. Trisluoksnės sijos elementas.....	15
2.1 pav. Bandinio konstrukcijos (formos).....	19
3.1 pav. 1 ir 4 konstrukcijos geometrinių centrų kitimas, kai ψ_x kinta nuo 0 iki 1, o $\psi_y=0,2$ – (kreivė 1); $\psi_y=0,5$ – (2); $\psi_y=0,8$ –(3).....	24
3.2 pav. 2 ir 5 konstrukcijos geometrinių centrų kitimas, kai ψ_y kinta nuo 0 iki 1, o $\psi_x=0,2$ – (kreivė 1); $\psi_x=0,5$ – (2); $\psi_x=0,8$ –(3).....	24
3.3 pav. 3 ir 6 konstrukcijos geometrinio centro kitimas, kai ψ_x ir ψ_y kinta nuo 0 iki 1.....	25
3.4 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=37,5$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.....	26
3.5 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=10$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.....	26
3.6 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=0,5$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.....	27
3.7 pav. 3 konstrukcijos (kreivės 1, 3, 5) ir 6 konstrukcijos (kreivės 2, 4, 6) standumo centrų kitimas, kai tamprumo modulių santykis: $E_1/E_2=37,5$ – (1, 2); $E_1/E_2=10$ – (3, 4); $E_1/E_2=0,5$ – (5, 6); $E_1/E_2=1$ – (7).....	27
3.8 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio parametro $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$; kreivės: 1, 2 – 1 konstrukcija; 3, 4 – 2 konstrukcija; 5, 6 – 4 konstrukcija; 7, 8 – 5 konstrukcija.....	28
3.9 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio parametro $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$; kreivės: 1, 2 – 1 konstrukcija; 3, 4 – 2 konstrukcija; 5, 6 – 4 konstrukcija; 7, 8 – 5 konstrukcija.....	30

- 3.10 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio parametro $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$; kreivės: 1, 2 – 1 konstrukcija; 3, 4 – 2 konstrukcija; 5, 6 – 4 konstrukcija; 7, 8 – 5 konstrukcija.....31
- 3.11 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7,9,11) ir K_y (2,4,6,8,10,12) priklausomybė nuo tamprumo modulių santykio, kai $E_1/E_2=37,5$ – (1,2,3,4); $E_1/E_2=10$ – (5,6,7,8); $E_1/E_2=0,5$ – (9,10,11,12); kreivės: 1, 2, 5, 6, 9, 10 – 3 konstrukcijos; 3, 4, 7, 8, 11, 12 – 6 konstrukcijos.....32
- 3.12 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=37,5$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcija; 4 – 5 konstrukcija.....33
- 3.13 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=10$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcija; 4 – 5 konstrukcija35
- 3.14 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=1$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c); kreivės : 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcija; 4 – 5 konstrukcija35
- 3.15 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=0,5$, sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c); kreivės : 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcija; 4 – 5 konstrukcija37
- 3.16 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=37,5$ – (1,2); $E_1/E_2=10$ – (3,4); $E_1/E_2=0,5$ – (5,6); $E_1/E_2=1$ – (7); kreivės: 2, 4, 6, 7 – 3 konstrukcijos; 1, 3, 5, 7 – 6 konstrukcijos.....38
- 3.17 pav. Bandinio konstrukcija : taškas 1 – σ_{x11} ; taškas 2 – σ_{x12} ; taškas 3 – σ_{x21} ; taškas 4 – σ_{x22} 39
- 3.18 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a), tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$ ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame(b).....40
- 3.19 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a), tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$ ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame(b).....40
- 3.20 pav. Įtempimo σ_x kitimo priklausomybė nuo santykinio sluoksnio storio koeficiento ψ_x , kai $\psi_y=0,2$, tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$41

IVADAS

Atsirandant naujoms kompozicinėms medžiagoms (KM) ir didėjant reikalavimams konstrukcijų stiprumui, standumui, masei ir kainai vis dažniau naudojami daugiasluoksniai konstrukciniai elementai, nes konstrukcijos, pagamintos iš vienos medžiagos, ne visada atitinka šiuos reikalavimus.

Daugelis konstrukcinių elementų (KE) gaminami iš vienos rūšies medžiagos (pvz.: plieno, spalvotųjų metalų, plastmasės). Šios medžiagos turi izotropinių ar anizotropinių stiprumo savybių (izotropinės medžiagos – tai medžiagos, kurios visomis linkmėmis turi vienodas fizines – mechanines savybes; anizotropinės – kurių savybės įvairiomis kryptimis yra skirtingos).

Naujos KM : stiklo, anglies ar boro plastikai bei kitos medžiagos pasižymi ryškiomis anizotropinėmis savybėmis. Šių medžiagų panaudojimas sluoksniuotuose konstrukciniuose elementuose įgalina gauti reikiamas konstrukcijų savybes norima kryptimi įvertinant apkrovų visumą, jų veikimo kryptį, darbo aplinką ir kitus aktualius reikalavimus.

Sluoksniuotų konstrukcinių elementų (SKE) stiprumas ir standumas priklauso nuo panaudojamų medžiagų skaičiaus bei jų standumo charakteristikų, geometrinių parametrų, sluoksnių skaičiaus ir jų išdėstymo eiliškumo.

Konstruojant SKE iš kelių skirtingų medžiagų, turinčių ne tik skirtingas stiprumo ir standumo charakteristikas, bet ir skirtingą lyginamąjį svorį bei kainą, galima gana didelė konstrukcijų įvairovė su skirtingais parametrais.

Derinant KM stiprumo bei standumo reikalavimus su šių medžiagų sluoksnių storiais, tankiais ar kaina, galima gauti maksimalius stiprumo ir standumo bei minimalios masės ar kainos daugiasluoksnes konstrukcijas.

Darbo tikslas – išnagrinėti daugiasluoksnių sijų geometrinių centrų, standumo centrų, standumo ir stiprumo pasiskirstymo dėsningumus, keičiant sluoksnių geometrines charakteristikas, medžiagų išsidėstymą konstrukcinio elemento skerspjuvyje, esant asimetrinėms iš dviejų medžiagų sudarytomis konstrukcijoms.

Darbo uždaviniai:

1. Suskaičiuoti, iliustruoti ir paaiškinti skirtingų konstrukcijų geometrinių centrų, standumo centrų priklausomybes nuo santykinio sluoksnių storio parametro ψ , medžiagų tamprumo santykio.

2. Suskaičiuoti, iliustruoti ir paaiškinti skirtingų konstrukcijų standumo kitimo priklausomybes nuo santykinio sluoksnių storio parametro ψ , medžiagų tamprumo santykio.

3. Suskaičiuoti, iliustruoti ir paaiškinti skirtingų konstrukcijų stiprumo kitimo priklausomybes nuo santykinio sluoksnių storio parametro ψ , medžiagų tamprumo santykio.

1.DAUGIASLUOKSNĖS KONSTRUKCIJOS IR JŲ EFEKTYVUMAS

1.1. DKE bendroji charakteristika ir jų panaudojimas

Daugiasluksniai konstrukciniai elementai (DKE) (t.y., elementai sudaryti iš dviejų ar daugiau skirtingų medžiagų) pirmiausia pradėti taikyti lėktuvuose, sklandytuvuose. Šiuo metu jie naudojami įvairios paskirties objektams: pradedant buities technika, statybinėmis konstrukcijomis, automobiliais ir baigiant lėktuvų konstrukcijomis[8].

Lietuvoje KM pradėtos naudoti 1972m. Šiuo metu gaminant sklandytuvus yra naudojamos daugiasluksnės hibridinės konstrukcijos, kurios yra sukomponuotos iš įvairių markių anglies plastikų, karšto ir šalto kietėjimo stiklo plastikų [8].

Norint sukurti patikimą konstrukciją, reikia pažinti mechanines konstrukcinių medžiagų savybes, mokėti panaudoti savybes išreikšti konstrukcijų skaičiavimuose.

Esant skirtingoms naudojamų medžiagų standumo charakteristikoms daugiasluksniuose konstrukcijose, esant lenkimui, įtempimui, atsiranda erdvinis įtempimų būvis. Yra svarbu nustatyti, koku dydžiu įtempimai įvairiomis kryptimis yra gaunami daugiasluksnėje konstrukcijoje, kiek šie įtempimai gali spartinti irimo procesus ir turėti įtakos konstrukcijos ilgaamžiškumui, kokie yra įtempimų pasiskirstymo dėsniniai, anomalinių zonų, kurios atsiranda dėl deformacijų suvaržymo konstrukcinio elemento tvirtinimo vietose, įtempimų dydžiai, ilgiai ir kt.

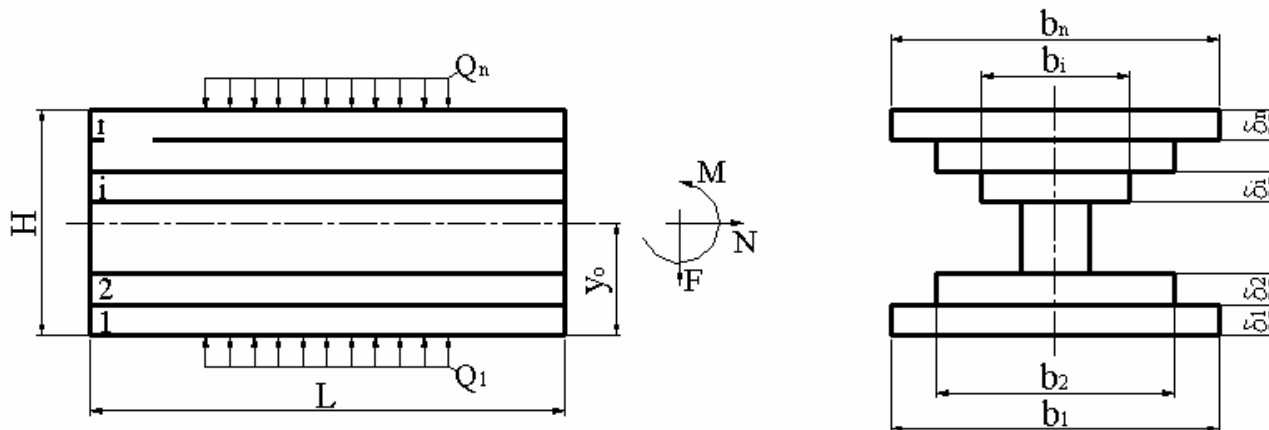
DKE stiprumą ir standumą nagrinėjo J. Bareišis, V. Paulauskas, V. Vasiljevas, D. Garuckas, V. Kleiza, A. Daniškevičiūtė ir kt. [3, 4, 6, 8, 9].

DKE stiprumas, standumas priklauso nuo naudojamų medžiagų skaičiaus, medžiagų standumo charakteristikų, geometrinių parametrų ir sluoksnių išdėstymo eiliškumo. Žinant kaip kinta KE stiprumo ir standumo parametrai priklausomai nuo išvardintų veiksnių įgalina greičiau pasirinkti tinkama gaminio konstrukcijos variantą.

Konstruojant DKE iš kelių skirtingų medžiagų, kurios turi skirtingas ne tik stiprumo ir standumo charakteristikas, bet ir skirtingą lyginamąjį svorį ir masę, galima didelė konstrukcijų įvairovė su skirtingais parametrais. Taigi, derinant kompozicinių medžiagų stiprumo ir standumo reikalavimus su jų sluoksnių storiais, tankiais ir kaina, galima gauti maksimalaus stiprumo ir standumo ir minimalios masės ar akinos daugiasluksnes konstrukcijas.

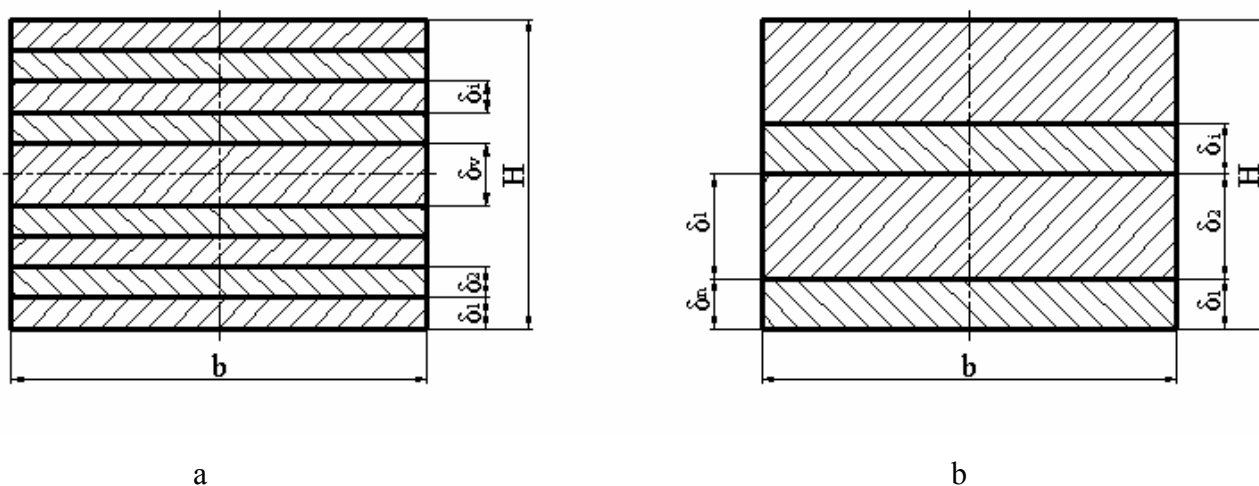
1.2. DKE struktūra

Bendroju atveju sluoksniuotą konstrukcinį elementą gali sudaryti įvairaus pločio b ir aukščio (storio) δ sluoksniai. Konstrukcinis elementas gali būti apkrautas įvairių tipų apkrovomis: ašine jėga N , skersine jėga F , sloginiu Q ar lenkimo momentu M arba kombinuota apkrova (1.1 pav.) [8].



1.1 pav. Daugiasluoksnis konstrukcinis elementas

Sluoksniuotų konstrukcijų klasifikacija. Nagrinėjant sluoksniuotų konstrukcinių elementų stiprumą ir standumą buvo pastebėta, kad priklausomai nuo konstrukcinio elemento sluoksnių medžiagos mechaninių savybių, sluoksnių formavimui naudojamų medžiagų skaičiaus, sluoksnių padėties (išsidėstymo) konstrukciniame elemente, sluoksnių skaičiaus (lyginis jų skaičius ar ne), sluoksniuoto konstrukcinio elemento stiprumo ir standumo savybių kitimo dėsningumai atskiroms elementų konstrukcijoms skiriasi. Visi sluoksniuoti konstrukciniai elementai pagal jų savybių kitimo dėsningumą panašumą yra suskirstyti į tipus ir grupes.



1.2 pav. Simetrinių (a) ir asimetrinių (b) konstrukcinių elementų skerspjūviai

Pagal konstrukcinio elemento sluoksnių skaičių ir simetriškumą sluoksniuoti konstrukciniai elementai suskirstyti į simetrinius (1.2 pav., a) ir asimetrinius (1.2 pav., b) konstrukcinius elementus.

Simetriniais konstrukciniais elementais vadinami konstrukciniai elementai turintys nelyginį sluoksnių skaičių (3,5,7,9 ir t.t.), kurių vienodo storio atitinkamos medžiagos sluoksniai išsidėstę simetriškai vidurinio sluoksnio atžvilgiu [8].

Asimetriniais konstrukciniais elementais vadinami konstrukciniai elementai turintys lyginį sluoksnių skaičių (1,4,6,8 ir t.t.), kurių sluoksniai yra skirtingų medžiagų arba skirtingų medžiagų sluoksniai atitinkamai periodiškai kartojasi.

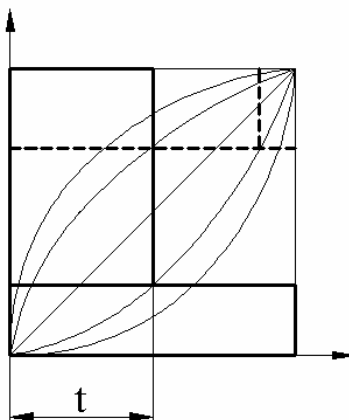
Pagal sluoksniuoto konstrukcinio elemento sluoksnio medžiagos fizines ir mechanines savybes bei to sluoksnio padėtį konstrukciniame elemente, simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai suskirstyti į tiesioginės ir atvirkštinės konstrukcijos elementus.

Tiesioginės konstrukcijos elementais vadinami simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai, kurių išorinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulis E_1 yra didesnis ($E_1 > E_2$) už sekančio vidinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulį E_2 .

Atvirkštinės konstrukcijos konstrukciniais elementais vadinami simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai, kurių išorinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulis E_1 yra mažesnis ($E_1 < E_2$) už sekančio vidinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulį E_2 .

Simetriniai sluoksniuoti konstrukciniai elementai priklausomai nuo išorinių sluoksnių skaičiaus vidurinio sluoksnio atžvilgiu bei stiprumo (σ_x , τ_{xy}) ir standumo (B , D , K) savybių dėsningumo skirtumo, suskirstyti į pirmos ir antros grupės konstrukcinius elementus.

Lenkiamos sijos dažnai būna suformuotos iš sluoksnių turinčių stačiakampio formos skerspjūvį, kurių matmenys, bendru atveju, nėra vienodi, o pats DS skerspjūvis neturi nei vienos inversinės simetrijos ašies. Be to sluoksnių formavimui naudojamos skirtingų tamprumo modulių E_i medžiagos, todėl tokia konstrukcija gali būti asimetrinė ne tik geometrine, bet ir standumo prasme, o standumo centras, bendru atveju, gali nesutapti su geometriniu centru. 1.3 pav. pateikta dvisluoksnės sijos skerspjūvio formavimo metodika [6].



1.3 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvio formavimo metodika, naudojant funkcija $f(t)=t^m$.

1.3. Stiprumo ir standumo skaičiavimo būdai

I. Požėla, S. Tamulevičius, D. Girdauskienė (Fizikos katedra, Kauno technologijos universitetas) [10] pasiūlė supaprastinti lygtis deformacijoms ir įtempimams daugiasluoksniuose heterą dariniuose (plokštelėse) apskaičiuoti. Naudodami Kirchhofo artinį, jie išsprendė vienmatį kubinės simetrijos darinių tamprumo uždavinį. Nevienalyčius įtempimus jie išreiškė pagrindinės plokštumos ilgine deformacija ir išlinkimo kreivumo spinduliu, specialiai tam tikslui parinkus pagrindinės plokštumos padėtį. Tai leido supaprastinti ieškomų įtempimų analitines išraiškas. Pasak I. Požėlos, S. Tamulevičiaus, D. Girdauskienės, dviašiai vidiniai įtempimai lygūs :

$$\sigma = (C_{11} + C_{12})(-e^* + e_0 + x_3 \cdot R^{-1}), \quad (1.1)$$

čia C_{11} ir C_{12} – medžiagos standumo koeficientas;

e^* - dviašės savosios deformacijos tenzorius;

e_0 – pagrindinės plokštumos dviašės deformacijos tenzorius;

R – jos dviašio išlinkimo kreivumo spindulys ($R_1=R_2=R_3$).

e_0 ir R priklauso nuo apkrovų h_1 ir h_2 ir yra lygūs:

$$e_0 = ((D_{11} + D_{12})\eta_1 - B_{11} \cdot \eta_2)\Delta^{-1}; \quad (1.2)$$

$$R^{-1} = (B_{11} \cdot \eta_1 - (A_{11} + A_{12}) \cdot \eta_2)\Delta^{-1}; \quad (1.3)$$

čia A , B , D – plokštelės standumai,

$$\Delta = (A_{11} + A_{12})(D_{11} + D_{12}) - B_{11}^2. \quad (1.4)$$

Plokštelės apkrovos η_1 ir η_2 yra apskaičiuojamos taip :

$$\eta_1 = \sum_{i=2}^N Y_i \cdot h_i \cdot e^*; \quad (1.5)$$

$$\eta_2 = -\frac{1}{2} \sum_{i=2}^N Y_i \cdot h_i (2H_i + h_i - 2\delta_i); \quad (1.6)$$

čia N – sluoksnių skaičius plokštelėje;

$Y_i=(C_{11}+C_{12})_i$ – i-tojo sluoksnio dviašis Jungo modulis;

h_i - jo storis;

$$H_i = \begin{cases} 0, & \text{jei } i = 1 \\ h_1 + h_2 + \dots, & \text{jei } i \geq 2 \end{cases} \quad (1.7)$$

δ_1 nusako pagrindinės plokštumos plokštelėje padėtį.

Taiga pasinaudojus (1.1) – (1.7) lygtimis galime apskaičiuoti įtempimus bei deformacijas .

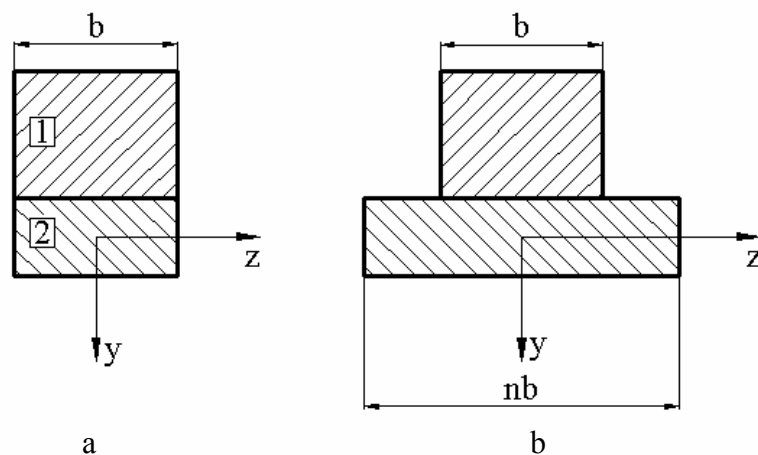
S. P. Timošenko daugiasluoksnėms konstrukcijoms pasiūlė redukuoto skerspjūvio metodą [11]. Šis metodas leidžia palengvinti sijos, pagamintos iš skirtingų medžiagų, tyrimą. Šio metodo esmė – sijos skerspjūvio skirtingų dalių (kurios yra pagamintos iš skirtingų medžiagų) pertvarkymas į ekvivalentinį sijos skerspjūvį, kuris yra iš vienos medžiagos. Paskui, taip vadinamas redukuotas skerspjūvis yra nagrinėjamas taip pat, kaip ir vienos medžiagos sijos.

Tam, kad pradinės sijos skerspjūvis būtų ekvivalentinis redukuotam skerspjūviui, jis turi turėti tą pačią neutraliąją ašį ir tokią pat galimybę pasipriešinti lenkimo momentui. Tam, kad pritaikyti redukuoto skerspjūvio metodą lygybę $E_1 \int_1 y \cdot dF + \int_2 y \cdot n \cdot dF = 0$ turime padalinti iš E_1 ir pažymėję $n = E_2/E_1$, kur n yra taip vadinamas modulių santykis, gauname:

$$\int_1 y \cdot dF + \int_2 y \cdot n \cdot dF = 0 \quad (1.8)$$

Iš šios formulės matyti, jog neutraliosios ašies padėtis nepasikeis, jeigu kiekvieną medžiagos 2(1.1 pav.) elementą padidinsime ploteliu dF koeficiento n sąskaita, esant sąlygom, kai atstumas y kiekvienam tokiam elementui lieka nepakitęs. Paprasčiau pasakius, skerspjūvį galime laikyti sudarytą iš dviejų dalių: iš plotelio 1, kuris yra sudarytas iš vienos medžiagos, t.y. iš medžiagos 1.

Redukuotas skerspjūvis sijai, parodytai 1.4 pav. a , pateiktas 1.4 pav. b. Dalis pjūvio (medžiaga 1) lieka nepakitusi, o kita dalis (medžiaga 2) padidėja n kartų (šiuo atveju yra imama, jog $n > 1$, tačiau tai nėra privaloma sąlyga). Tad galima laikyti, kad redukuotas skerspjūvis yra sudarytas iš medžiagos 1. Redukuoto skerspjūvio neutralioji ašis bus ten pat, kai ir pradinės sijos. Be to, redukuotas skerspjūvis, kaip ir pradinis pjūvis turės tokią pat galimybę pasipriešinti lenkimo momentui.



1.4 pav. Sija, sudaryta iš dviejų skirtingų medžiagų: a) skerspjūvis; b) redukuotas pjūvis

Redukuotam skerspjūviui yra teisinga lygybė:

$$\sigma_x = x \cdot E_1 \cdot y. \quad (1.9)$$

Tuo tarpu momentas:

$$M = \int \sigma_x \cdot y \cdot dF = \int_1 \sigma_x \cdot y \cdot dF + \int_2 \sigma_x \cdot y \cdot dF = x \cdot E_1 \int_1 y^2 \cdot dF + x \cdot E_2 \int_2 y^2 \cdot dF = x(E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2) \quad (1.10)$$

Ši išraiška sutampa su pradinio skerspjūvio momento išraiška, tad pradinės ir redukuotos sijos momentai yra lygūs.

Redukuoto skerspjūvio įtempimus galime rasti kaip ir sijos, kuri yra sudaryta iš vienos medžiagos. Redukuoto skerspjūvio įtempimai yra randami taip:

$$\sigma_{x1} = \frac{M \cdot y}{I_{re}}, \quad (1.11)$$

Čia I_{re} – redukuoto skerspjūvio inercijos momentas neutralios ašies atžvilgiu ($I_{re} = I_1 + nI_2$).

Ši išraiška sutampa su pradinio skerspjūvio įtempimų išraiška, tad įtempimai medžiagoje 1 pradiniame sijos skerspjūvyje yra tokie pat kaip ir gautame redukuotame skerspjūvyje. Žinoma, medžiagai 2 pradiniame sijos skerspjūvyje panašūs tvirtinimai bus neteisingi. Norint gauti įtempimus pradiniame sijos skerspjūvyje, reikia įtempimus redukuotoje sijoje padauginti iš n . Tad iš to seka, kad kai redukuotas skerspjūvis sudarytas iš medžiagos 1, tai įtempimai medžiagoje 1 bus „tikri, realūs“, bet įtempimai toje sijos dalyje, kuri buvo sudaryta iš medžiagos 2, pakinta dėl modulių santykio n .

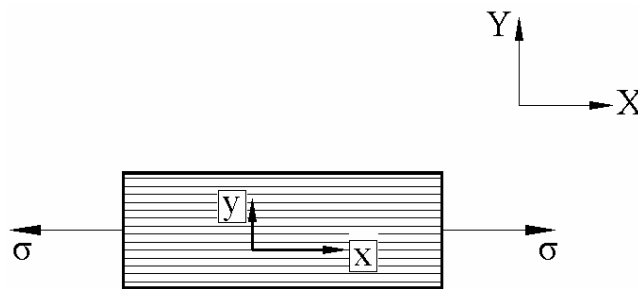
Redukuoto skerspjūvio metodas lengvai gali būti taikomas ir tuo atveju, kai sija yra sudaryta iš daugiau nei dviejų medžiagų. Taip pat galima redukuoti pirminę siją ir prie sijos, kurios tamprumo modulis E yra laisvai pasirenkamas: šiuo atveju visos pirminė sijos skerspjūvio dalys turi būti redukuojamos prie pasirinktos fiktyvios medžiagos.

A. Žiliukas taip pat pasiūlė sluoksniuotų kompozitų stiprumo skaičiavimo metodą [12]. Įtempimų analizei yra naudojamos lokalsios koordinatės (x, y) ir globaliosios koordinatės (X, Y) . Kai pluoštas yra orientuotas globaliųjų ašių X kryptimi (1.5 pav.), tai anizotropinio kūno tamprumo

moduliai kryptimis x, y yra E_x ir E_y , o Puasono koeficientai – ν_x ir ν_y . Įtempimai apskaičiuojami taip :

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_y \cdot \sigma_y}{E_y}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_x \cdot \sigma_x}{E_x}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}.\end{aligned}\tag{1.12}$$

Būtina pažymėti, jog $\nu_x/E_x = \nu_y/E_y$.



1.5 pav. Kompozitas, orientuotas viena kryptimi

Įtempimų ir deformacijų ryšys užrašomas matricos forma:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_y/E_y & 0 \\ -\nu_x/E_x & 1/E_y & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{xy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix};\tag{1.13}$$

$$\text{arba sutrumpintai } \{\varepsilon\} = [S]\{\sigma\};\tag{1.14}$$

čia [S] – darnos matrica.

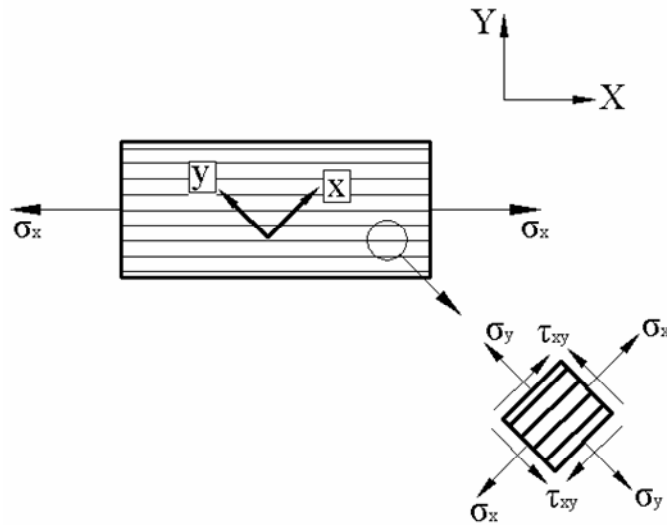
$$\text{Įtempimai } \{\sigma\} = [Q]\{\varepsilon\} = [S]^{-1}\{\varepsilon\};\tag{1.15}$$

Čia [Q] – standumo matrica.

Taiga, standumo matrica yra atvirkštinė darnos matricai:

$$[Q] = [S]^{-1}.\tag{1.16}$$

Kai lokalsiosios koordinatės (x, y) nesutampa su globaliosiomis (X, Y) koordinatėmis (1.6 pav.), tai globaliąsias koordinates reikia transformuoti į lokaliausias koordinates.



1.6 pav. Kampu orientuotas kompozitas

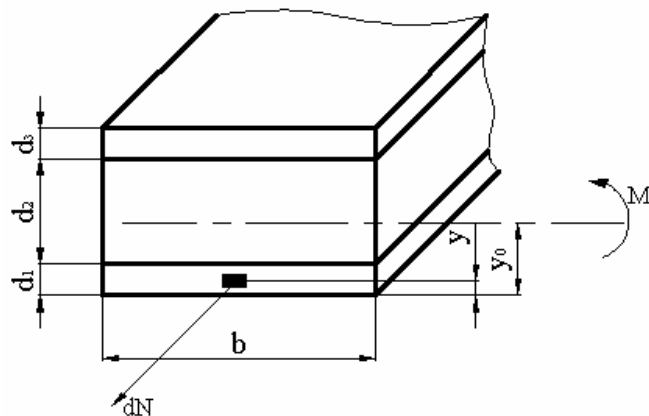
Šiuo atveju standumo matrica $[Q]$ globalinėse koordinatėse bus lygi :

$$\left[\bar{Q} \right] = \left[\bar{T}_\sigma \right]^{-1} [Q] [T_\varepsilon]; \quad (1.17)$$

Čia $[T_\sigma]$ ir $[T_\varepsilon]$ yra transformuotos matricos.

$$\text{Arba } \left[\bar{S} \right] = [Q]^{-1}. \quad (1.18)$$

J. Bareišis sijų neutralaus sluoksnio koordinatę y_0 pasiūlė rasti laikant, kad sijos elementas, parodytas 1.7 pav. yra pusiausvyroje [1]. Šis elementas yra veikiamas išorinių jėgų momento M ir vidinių jėgų dN , elemente dA , kuriame kyla normaliniai įtempimai σ_x .



1.7 pav. Trisluoksnės sijos elementas

Neutralaus sluoksnio koordinatę daugiasluoksnei sijai, pasak J. Bareišio, galima rasti pagal šią lygybę:

$$y_o = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot \delta_i + 2 \sum_{i=2}^n (B_i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j)}{2 \sum_{i=1}^n B_i} . \quad (1.19)$$

Normaliniai įtempimai daugiasluoksnės sijos bet kuriame sluoksnyje, veikiant ašinei apkrovai ir lenkimo momentui yra apskaičiuojamas taip:

$$\sigma_{xi} = E_{xi} \left(\frac{N_x}{B} + \frac{M_x}{D} \cdot y_i \right); \quad (1.20)$$

Čia D – sijos standumas lenkiant. Jis gali būti išreikštas kaip apibendrintų visos sijos tamprumo modulio E_k ir inercijos momento I_k sandauga :

$$D = (EI)_k = E_k \cdot I_k = \sum_{i=1}^n E_{xi} \cdot I_i . \quad (1.21)$$

Apibendrintas sijos tamprumo modulis E_k yra lygus :

$$E_k = \sum_{i=1}^n E_{xi} \cdot \frac{I_i}{I_k} = E_{x1} \cdot \frac{I_1}{I_k} + E_{x2} \cdot \frac{I_2}{I_k} + \dots + E_{xn} \cdot \frac{I_n}{I_k} . \quad (1.22)$$

Kai $Q(x) \neq \text{const}$ tarp daugiasluoksnės sijos sluoksnių kyla normaliniai įtempimai σ_y . jie randami iš lygybės :

$$\sigma_{yi} = \frac{q}{b_i \cdot D} (y_i \cdot y_o \cdot H_i - \frac{1}{2} (y_i + y_o) \cdot L_i + \frac{1}{3} T_i) - \frac{b_1 \cdot p_1}{b} , \quad (1.23)$$

$$\text{kur } q = b_1 \cdot p_1 - b_n \cdot p_2 ; \quad (1.24)$$

$$H_i = \sum_{j=1}^i B_j ; \quad (1.25)$$

$$L_i = \sum_{j=1}^i B_j (y_j + y_{j-1}) ; \quad (1.26)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^i B_j (y_j^2 + y_{j-1} \cdot y_j + y_{j-1}^2) ; \quad (1.27)$$

čia p_1, p_2 – slėgiai, veikiantys į b_1 ir b_n – pločio sluoksnius.

Tangentiniai įtempimai, kylantys daugiasluoksnės sijos bet kuriame horizontaliame pjūvyje yra apskaičiuojami iš lygybės :

$$\tau_i = \frac{Q \cdot C_{(y)}}{D \cdot b_{(y)}} ; \quad (1.28)$$

$$\text{kur } C_i = 0,5 \sum_{j=1}^i B_j (y_{j-1} + y_j) = \int_0^y B \cdot y \cdot dy ; \quad (1.29)$$

čia b_y – sijos plotis nagrinėjamame horizontaliame pjūvyje.

Sijos standumas šlyčiai yra apskaičiuojamas pagal formulę :

$$K = \frac{h \cdot D}{\int_0^h \left(\frac{C_y \cdot dy}{b \cdot G_{xy}} \right)} . \quad (1.30)$$

Atlikęs skaičiavimų metodų analizę darau išvada, kad tolimesniuose savo tyrimuose patogiausia naudoti J. Bareišio formules, pagal kurias galima apskaičiuoti geometrinių ir standumo centrų padėtys, standumą lenkimui ir stiprumą.

2. DAUGIASLUOKSNIŲ SIJŲ (DS) SKAIČIAVIMO METODIKA ESANT LENKIMUI

2.1. Naudojamos prielaidos, medžiagos, konstrukcijos

DKE skaičiavimo metodikoje yra laikomasi šių prielaidų :

1. Deformuojamo konstrukcinio elemento skersiniai pjūviai lieka plokšti ir statmeni išilginiams sijos sluoksniams, nepriklausomai nuo to, ar sluoksnio medžiaga yra linijiškai tampri.
2. Linijinės išilginės deformacijos konstrukcinio elemento aukštyje pasiskirsčiusios pagal linijinį dėsnį.
3. Sluoksnio mechaninės charakteristikos priklauso nuo kompozito armuojančios ir rišamosios medžiagos, kaip visumos, savybių, nustatomų eksperimentinių būdu.
4. Sluoksnių sujungimo vietose nėra praslydimo.
5. Sluoksnius sudarančių medžiagų Puasono koeficientai yra vienodi.

Skaičiavimams pasirinkau iš dviejų medžiagų sudarytą nesimetrinį bandinį. Medžiagų fizinės ir mechaninės savybės pateiktos 2.1 lent. [8].

2.1 lentelė

Medžiagų fizinės mechaninės savybės, kai $T=25^{\circ}\text{C}$

Fizinės ir mechaninės savybės	Anglies plastikas (1) A	Epoksidinė derva (2) D
σ_u [GPa]	775	22
E [GPa]	$E_1= 60$	$E_2= 1,6$

Tiriamos konstrukcijos : dvisluoksnis sudarytas iš A ir D medžiagų, kurių charakteristikos pateiktos (2.1 lent.) , gabaritiniai matmenys $b=h=0,5$ m. Dalis tyrimų atlikta paliekant bazinę medžiagą anglies plastiką, o antrojo sluoksnio medžiagą parenkant tokį, kad būtų gauti tamprumo modulių santykiai 10, 1 ir 0,5. Tyrimui naudosiu šešių tipų konstrukcijas, kurias apibrėžia šie kintami parametrai:

1 – 3 konstrukcija $b_2=b=\text{const.}=0,5$ m , o $h_1+h_2=h=\text{const.}=0,5$ m.

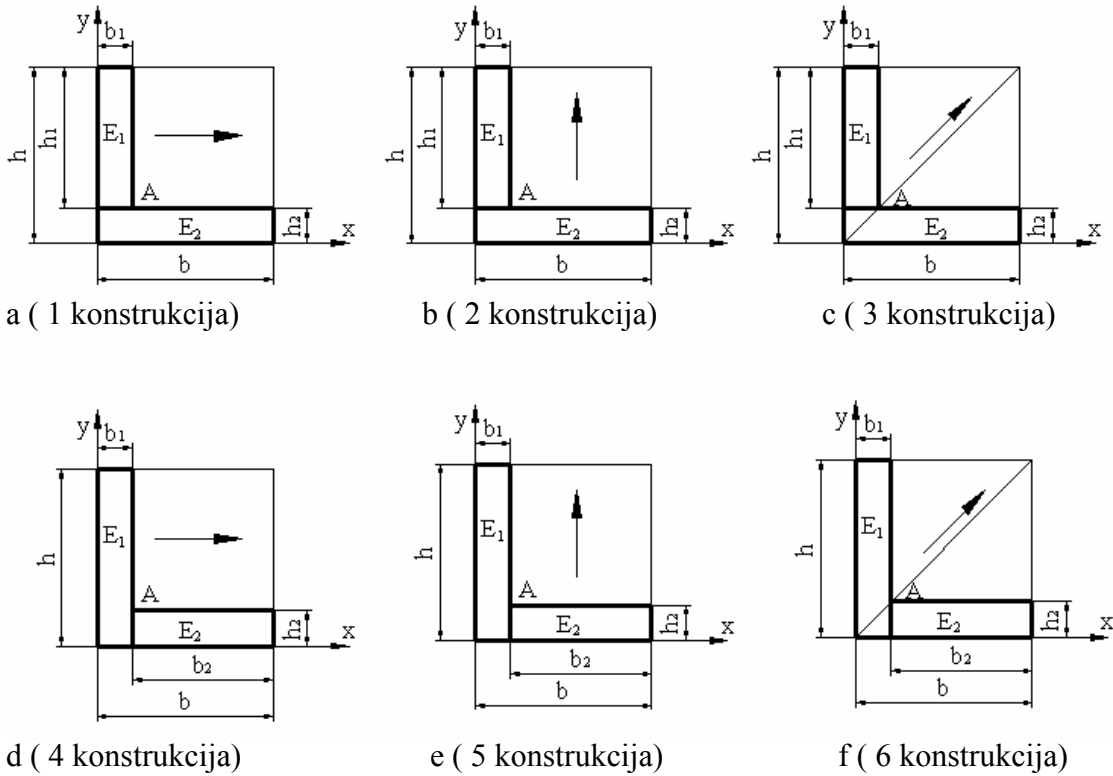
4 – 6 konstrukcija $h_1=h=\text{const.}=0,5$ m, o $b_1+b_2=b=\text{const.}=0,5$ m.

Konstrukcijų suskirstymas pagal taško A judėjimo trajektorija:

1, 4 konstrukcija (2.1 pav. a, d) b_1 kinta nuo 0 iki $b=0,5$ m , taškas A juda horizontaliai t.y. $\psi_x=0-1$, kai $\psi_y=0,2 ; 0,5 ; 0,8$.

2, 5 konstrukcija (2.1 pav. b, e) h_1 kinta nuo 0 iki $h=0,5$ m , taškas A juda vertikaliai t.y. $\psi_y=0-1$,kai $\psi_x=0,2 ; 0,5 ; 0,8$.

3, 6 konstrukcija (2.1 pav. s, f) $h_1=b_1$ kinta nuo 0 iki $h=b=0,5$ m , taškas A juda kvadrato įstrižaine t.y. $\psi_x=\psi_y$.



2.1 pav. Bandinio konstrukcijos

2.2. Geometrinių ir standumo centrų skaičiavimas

Nesimetrinėse daugiasluoksnėse konstrukcijose neutralios ašies padėtis nesutampa su skerspjūvio geometrine ašimi. Neutralios ašies padėtis taip pat nėra pastovi. Jos padėtis keičiasi priklausomai nuo konstrukcijos standumo ir sluoksnių storių. Geometrinio centro padėtis analitiškai aprašomas lygybe:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_{yi}}{\sum_{i=1}^n A_i} ; \quad (2.1)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_{xi}}{\sum_{i=1}^n A_i} ; \quad (2.2)$$

čia S_{xi} , S_{yi} – i - tojo sluoksnio statinis momentas, m^3 ; $S_i = y_{ci} \cdot A_i$ (2.3)

A_i – sluoksnio plotas, m^2 ; $A_i = h_i \cdot b$. (2.4)

Neutralios ašies padėties analitinė išraiška:

$$x_E = \frac{\sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot E_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot E_i} ; \quad (2.5)$$

$$y_E = \frac{\sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot E_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot E_i} ; \quad (2.6)$$

čia E_i – sluoksnio tamprumo modulis, Pa ;

2.3. Standumo ir įtempimų skaičiavimas

Standumas lenkiamose sijose priklauso ne tik nuo naudojamų medžiagų tamprumo modulių, bet ir nuo inercijos momentų :

$$D = \sum_{i=1}^n E_i \cdot I_i , \quad (2.7)$$

čia E_i – i - tojo sluoksnio tamprumo modulis, Pa ;

I_i – i - tojo sluoksnio inercijos momentas, m^4 .

Inercijos i – tojo sluoksnio momentas neutralios ašies atžvilgiu :

$$I_{xi} = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + (y_i^*)^2 \cdot b_i \cdot h_i \quad (\text{keičiantis sluoksnių storiui}), \quad (2.8)$$

$$I_{yi} = \frac{h_i \cdot b_i^3}{12} + (x_i^*)^2 \cdot b_i \cdot h_i \quad (\text{keičiantis sluoksnių pločiui}); \quad (2.9)$$

čia y_i^*, x_i^* – atstumas nuo neutraliosios ašies iki nagrinėjamo sluoksnio vidurio, m .

$$y_i^* = y_n - 0,5 \cdot h_i - \sum_{m=1}^{i-1} h_m \quad (\text{keičiantis sluoksnių storiui}), \quad (2.10)$$

$$x_i^* = x_n - 0,5 \cdot b_i - \sum_{m=1}^{i-1} b_m \quad (\text{keičiantis sluoksnių pločiui}). \quad (2.11)$$

Normaliniai įtempimai bet kuriame lenkiamos daugiasluoksnės sijos taške apskaičiuojami pagal formulę :

$$\sigma_{xi} = E_i \frac{M}{D} y_i . \quad (2.12)$$

čia E_i – i -tojo sluoksnio tamprumo modulis, Pa ;

D – sijos standumas, Nm^2 ;

M – momentas, Nm ;

Y_i – atstumas nuo neutraliosios linijos iki nagrinėjamo sluoksnio, m .

$$y_i = \left| y_n - \sum_{m=1}^{i-1} \delta_m \right| . \quad (2.13)$$

Skersinio lenkimo atveju, sijos pjūviuose veikia lenkimo ir skersinės įrašos. To sekoje sijos skerspjūvyje atsiranda ne tik normaliniai, bet ir tangentiniai įtempimai. Tangentiniai įtempimai yra apskaičiuojami pagal formulę :

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x \cdot C_{(y)}}{D \cdot b_{(y)}} . \quad (2.14)$$

3. DKE STANDUMO IR STIPRUMO TYRIMAS

3.1. Geometrinių ir standumo centrų padėčių tyrimas

1 – 3 konstrukcijų (2.1 pav. a, b, c) geometrinių centrų x_c , y_c koordinatės (pagal 2.1 – 2.4 formules) atitinkamai lygios :

$$x_c = \frac{A_1 \cdot \frac{b_1}{2} + A_2 \cdot \frac{b}{2}}{A_1 + A_2}, \quad (3.1)$$

$$y_c = \frac{A_1 \cdot (h_2 + \frac{h-h_2}{2}) + A_2 \cdot \frac{h_2}{2}}{A_1 + A_2}, \quad (3.2)$$

Standumo centrų koordinatės x_E , y_E lygios :

$$x_E = \frac{A_1 \cdot E_1 \cdot \frac{b_1}{2} + A_2 \cdot E_2 \cdot \frac{b}{2}}{A_1 \cdot E_1 + A_2 \cdot E_2}, \quad (3.3)$$

$$y_E = \frac{A_1 \cdot E_1 \cdot (h_2 + \frac{h-h_2}{2}) + A_2 \cdot E_2 \cdot \frac{h_2}{2}}{A_1 \cdot E_1 + A_2 \cdot E_2}, \quad (3.4)$$

4 – 6 konstrukcijų (2.1 pav. d, e, f) geometrinių centrų x_c , y_c koordinatės (pagal 2.1 – 2.4 formules) atitinkamai lygios :

$$x_c = \frac{A_1 \cdot \frac{b_1}{2} + A_2 \cdot (b_1 + \frac{b-b_1}{2})}{A_1 + A_2}, \quad (3.5)$$

$$y_c = \frac{A_1 \cdot \frac{h}{2} + A_2 \cdot \frac{h_2}{2}}{A_1 + A_2}, \quad (3.6)$$

Standumo centrų koordinatės x_e, y_e lygios :

$$x_E = \frac{A_1 \cdot E_1 \cdot \frac{b_1}{2} + A_2 \cdot E_2 \cdot (b_1 + \frac{b-b_1}{2})}{A_1 \cdot E_1 + A_2 \cdot E_2}, \quad (3.7)$$

$$y_E = \frac{A_1 \cdot E_1 \cdot \frac{h}{2} + A_2 \cdot E_2 \cdot \frac{h_2}{2}}{A_1 \cdot E_1 + A_2 \cdot E_2}, \quad (3.8)$$

Skerspjūvio geometrinės ašies ir standumo ašies padėties nesutapimą nusako šių dydžių santykis :

$$K_x = \frac{x_c}{x_E}; \quad (3.9)$$

$$K_y = \frac{y_c}{y_E}; \quad (3.10)$$

Čia x_0 ir y_0 – skerspjūvio geometrinio centro koordinatės, m ;

x_E ir y_E – skerspjūvio standumo centro koordinatės, m .

Santykinis sluoksnių storio koeficientas lygus :

$$\psi_x = \frac{b_1}{b}; \quad (3.11)$$

$$\psi_y = \frac{h_1}{h}; \quad (3.12)$$

$$\psi_x = 0 \dots 1; \quad \psi_y = 0 \dots 1,$$

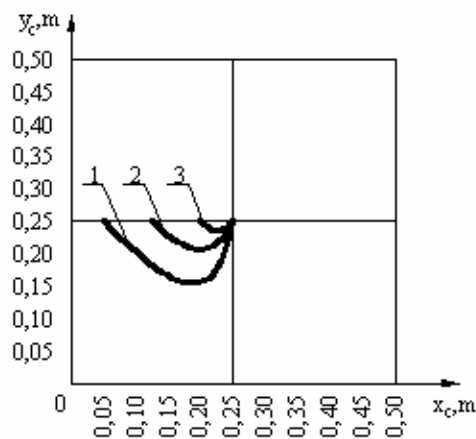
čia h – konstrukcijos aukštis, m ;

b – konstrukcijos plotis, m .

Taigi nagrinėsiu šešias konstrukcijas (2.1 pav. a, b, c, d, e, f). Visais atvejais $h = \text{const}$, $b = \text{const}$.

3.1.1. Geometrinių ir standumo centrų padėties kitimas nuo sluoksnių storio.

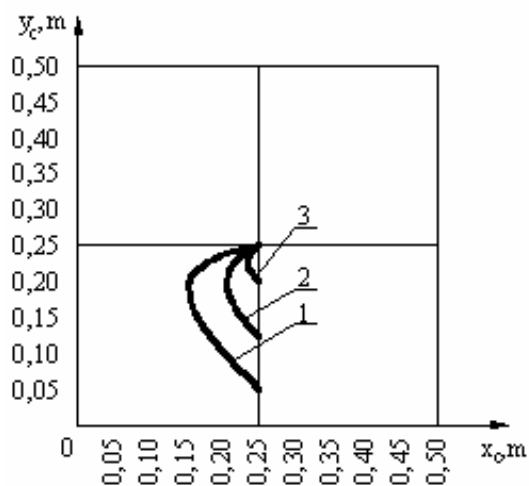
Nagrinėsiu šešias konstrukcijas, kuriose keičiau parametru ψ ir tamprumo modulių santykį. Didinat asimetrinių DS sluoksnių tamprumo modulių santykį standumo centras tolsta nuo geometrinio ir šis atstumas yra pakankamai reikšmingas. Visų konstrukcijų atvejais geometrinių centrų kreivės parsideda iš antrojo sluoksniu geometrinio centro. Geometrinių centrų kitimo kreivės 1 ir 4 konstrukcijos priklausomai nuo parametro ψ pateiktos 3.1 pav., o rezultatai pateikti priedo 1 lentelėje. Geometrinio centro kitimas gaunamas, kai sluoksnių medžiagų tamprumo modulių santykis lygus vienetui. Didėjant parametru ψ_y geometrinis centras artėja prie kvadrato horizontalios simetrijos ašies.



3.1 pav. 1 ir 4 konstrukcijos geometrinių centrų kitimas, kai ψ_x kinta nuo 0 iki 1

$$\psi_y = 0,2 - (\text{kreivė } 1); \psi_y = 0,5 - (2); \psi_y = 0,8 - (3).$$

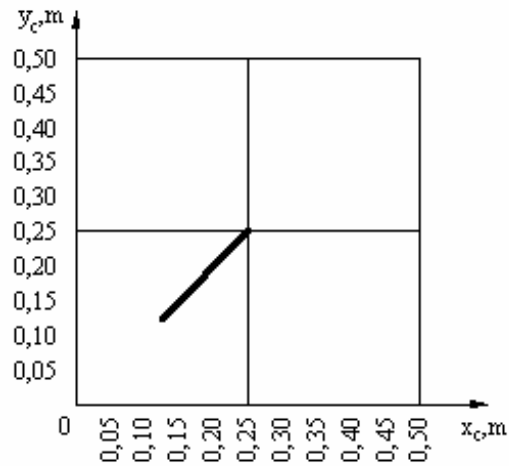
3.2 pav. pavaizduota 2 ir 5 konstrukcijos geometrinio centro kitimas priklausomai nuo parametro ψ , o rezultatai pateikti priede 2 lentelėje. Didėjant parametru ψ_x geometrinis centras artėja prie kvadrato vertikalios simetrijos ašies.



3.2 pav. 2 ir 5 konstrukcijos geometrinių centrų kitimas, kai ψ_y kinta nuo 0 iki 1

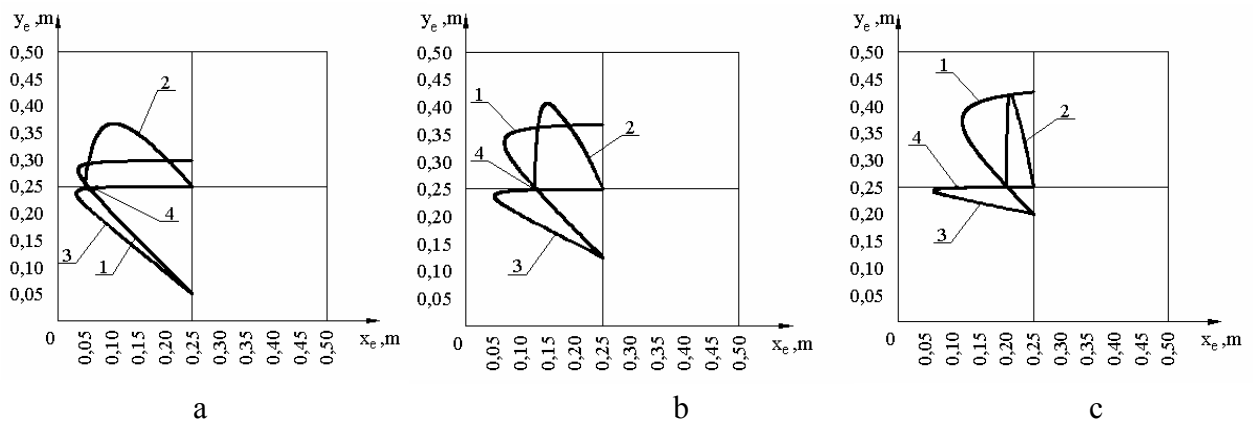
$$\psi_x=0,2 - (\text{kreivė } 1); \psi_x=0,5 - (2); \psi_x=0,8 - (3).$$

3.3 pav. pavaizduota 3 ir 6 konstrukcijos geometrinio centro kitimas priklausomai nuo parametro ψ , o rezultatai pateikti priede 3 lentelėje. Kai sijos skerspjūvio formavimas vyksta pagal kvadrato įstrižainę, tai geometrinis centras juda tiese.



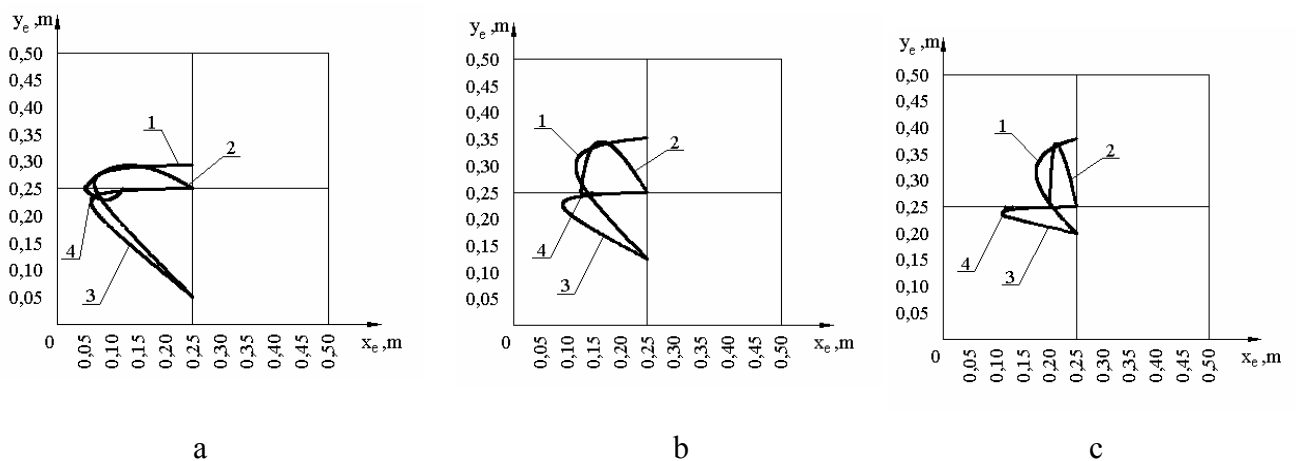
3.3 pav. 3 ir 6 konstrukcijos geometrinio centro kitimas, kai ψ_x ir ψ_y kinta nuo 0 iki 1.

Formuojant DS konstrukcijas iš medžiagų turinčių skirtingus tamprumo modulius dažniausiai standumo centras nesutampa su geometriniu centru. Standumo ir geometrinių centrų sutapimas gaunamas, kai abiejų sluoksnių medžiagos turi tokį patį tamprumo modulį t.y. $E_1/E_2=1$. Didžiausios standumo reikšmės gaunamos, kai abu DKE sluoksniai yra vienodo pločio. Kai tamprumo modulių santykis yra mažesnis už vienetą tai standumo centro kreivė yra arčiau kvadratinio skerspjūvio simetrinės ašies nei geometrinio centro kreivė, o kai šis santykis didesnis už vienetą – tai standumo centro kreivė tolsta, didėjant tamprumo modulių santykiui. Tai paaiškinama pirmojo sluoksniu, turinčio didesnę tamprumo modulį, įtaka. Taigi kuo didesnis sluoksnių medžiagų tamprumo modulių santykis tuo didesnis standumo ir geometrinio centrų nesutapimas. 3.4 pav. pateikta standumo centrų kitimas nuo ψ_x ir ψ_y , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$, o rezultatai pateikti priede 4, 5, 6 lentelėje. Pirma kreivė tai 1 konstrukcijos (2.1 pav. a), 2 kreivė – 2 konstrukcijos (2.1 pav. b), 3 kreivė – 4 konstrukcijos (2.1 pav. d), 4 kreivė – 5 konstrukcijos (2.1 pav. e) kaip matome didėjant ψ reikšmei standumo centras tolsta nuo geometrinio centro. Didėjant ψ reikšmei visos kreivės artėja prie kvadrato simetrijos ašies.



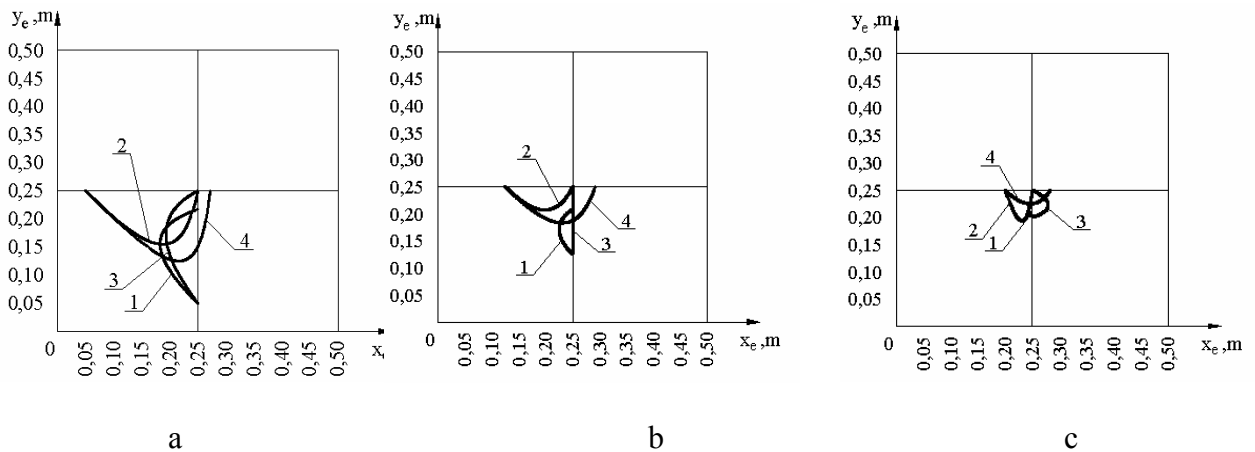
3.4 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=37,5$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c) kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.

Mažėjant medžiagų tamprumo modulių santykiui standumo kreivės artėja prie geometrinio centro. 3.5 pav. pateikta standumo centrų kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai medžiagų tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$, o rezultatai pateikti priede 7, 8, 9 lentelėje. Kreivė 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos. Didėjant parametrai ψ standumo centras tolsta nuo geometrinio centro.



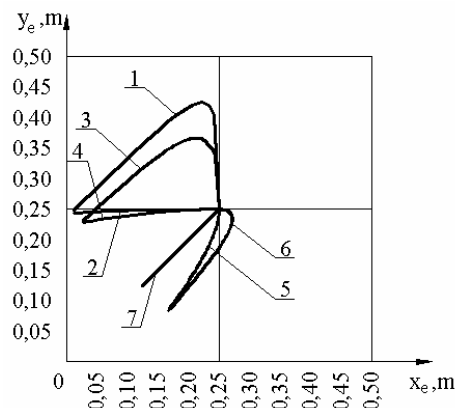
3.5 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=10$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c) kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.

Kai medžiagų tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$ standumo centrai yra arčiausiai geometrinio centro. 3.6 pav. pavaizduota standumo centrų kitimas nuo parametro ψ , kai medžiagų tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$, o rezultatai pateikti priede 10, 11, 12 lentelėje. 1 kreivė – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.



3.6 pav. Standumo centrų kitimas, kai $E_1/E_2=0,5$, o $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c)
kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos;
4 – 5 konstrukcijos.

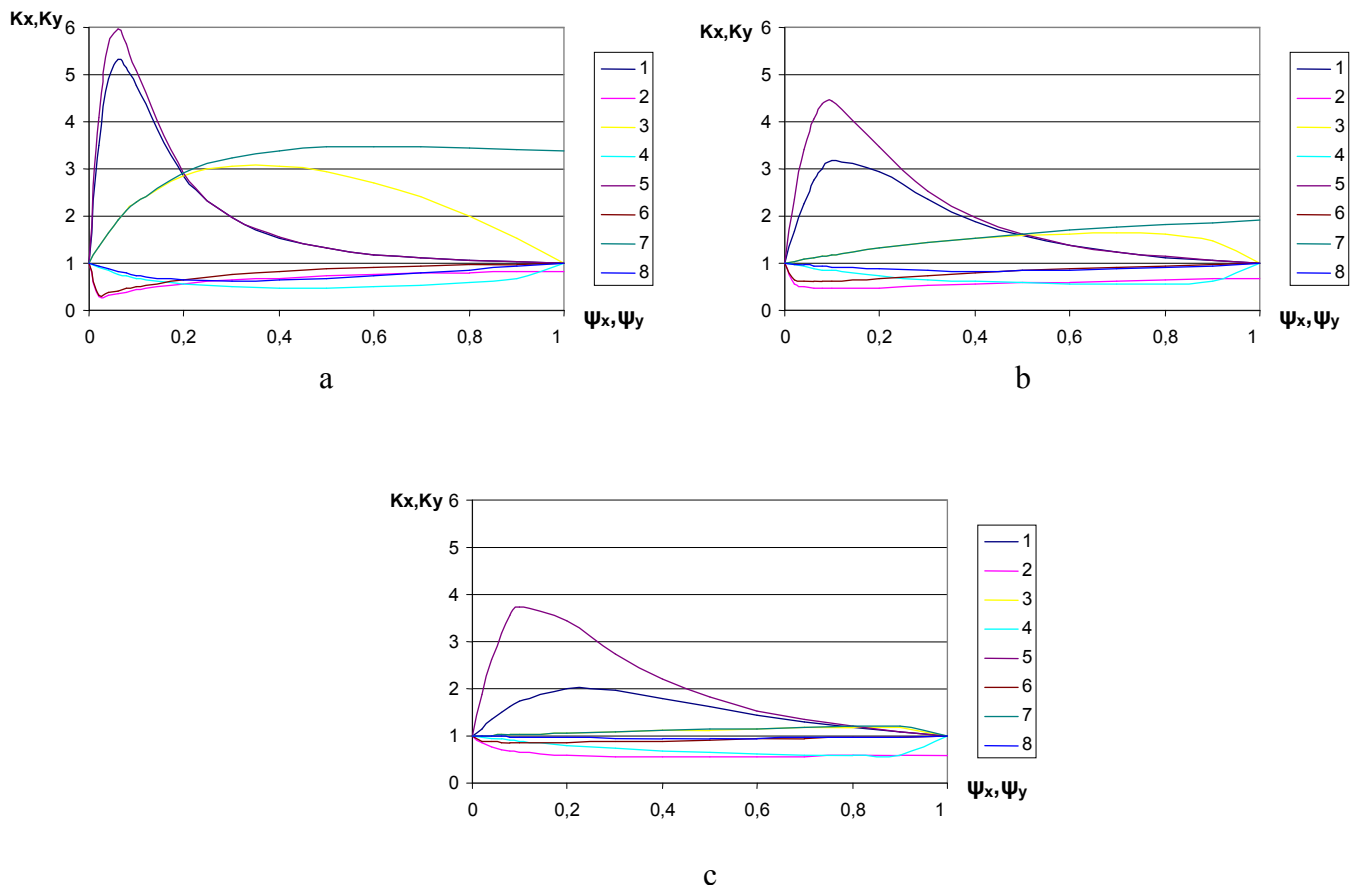
3.7 pav. patektas standumo centrų kitimas 3 ir 6 konstrukcijų (2.1 pav. c, f) priklausomai nuo tamprumo modulių santykio, o rezultatai pateikti priede 13 lentelėje. Kreivė 1 yra 3 konstrukcijos (2.1 pav. c) ir kreivė 2 yra 6 konstrukcijos (2.1 pav. f), kai $E_1/E_2=37,5$. Matome pirmosios kreivės reikšmės yra didesnės už antrosios esant tam pačiam tamprumo modulių santykiui, tai yra dėl to, kad 3 konstrukcijoje antroji medžiaga yra per visą konstrukcijos plotį. Kreivė 3 yra 3 konstrukcijos, o kreivė 4 yra 6 konstrukcijos, kai $E_1/E_2=10$. Kreivė 5 yra 3 konstrukcijos, o kreivė 6 – 6 konstrukcijos, kai $E_1/E_2=0,5$. Kai geometrinis ir standumo centras juda įstrižaine ir jų tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=1$ geometrinio ir standumo centro kreivės yra lygios, tai kreivė 7 yra 3 ir 6 konstrukcijos.



3.7 pav. 3 konstrukcijos (kreivės 1, 3, 5) ir 6 konstrukcijos (kreivės 2, 4, 6) standumo centrų
kitimas, kai tamprumo modulių santykis:

$E_1/E_2=37,5$ – (1,2); $E_1/E_2=10$ – (3,4); $E_1/E_2=0,5$ – (5,6); $E_1/E_2=1$ – (7).

Pirmiausia norėčiau panagrinėti 1, 2, 4, ir 5 konstrukcijas parodytas (2.1 pav. a, b, d, e). Nagrinėsiu tris variantus, kai $\psi=0,2$, $\psi=0,5$, $\psi=0,8$, kuriuose keičiau sluksnių storių parametrus ψ nuo 0 iki 1. Šių konstrukcijų neutralios ašies padėties koeficientų K_x , K_y priklausomybė nuo sluksnio storio yra pavaizduota 3.8 pav. a, b, c kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$, o rezultatai pateikti priedo 14, 15, 16 lentelėje.



3.8 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluksnių storio parametro: $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$; kreivės: 1 ir 2 – 1 konstrukcijos; 4 ir 5 – 2 konstrukcijos; 5 ir 6 – 4 konstrukcijos; 7 ir 8 – 4 konstrukcijos.

1 konstrukcija (1, 2 kreivė). Kai $\psi_x=0$, vadinasi turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajai medžiagai ir didėjant sluksnio storio parametrai ψ_x koeficientas K_x mažėja, o koeficientas K_y didėja. Kreivės 1 maksimumas, t.y. $K_x=5,312$ yra kai $\psi_y=0,2$, o $\psi_x=0,06$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0,478$ kai $\psi_x=0$. Kreivės 2 maksimumas, t.y. $K_y=1$, yra kai geometrinis centras sutampa su standumo centru, o $\psi_x=0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y=0,288$, kai $\psi_y=0,2$, o $\psi_x=0,2$. Didėjant parametrai ψ_y reikšmei standumo centras artėja prie geometrinio centro.

2 konstrukcija (3, 4 kreivė). Kai antrojo sluoksnio storis lygus $\psi_y = 0$, tai konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos. Kai konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos standumo centras sutampa su geometriniu centru. Kreivės 3 maksimumas, t.y. $K_x = 3,073$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_x = 0$. Kreivės 4 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi_y = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,478$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,05$.

4 konstrukcija (5, 6 kreivė). Šiuo atveju gauname didžiausia standumo centro pasislinkimą nuo geometrinio centro, kadangi standumo centras pasislenka link medžiagos turinčios didesnę tamprumo modulį. Kreivės 5 maksimumas, t.y. $K_x = 5,966$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,03$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_x = 0$. Kreivės 6 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,329$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi = 0,01$.

5 konstrukcija (7, 8 kreivė). Kreivės 7 maksimumas, t.y. $K_x = 3,482$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,6$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi = 0$. Kreivės 8 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,632$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,3$.

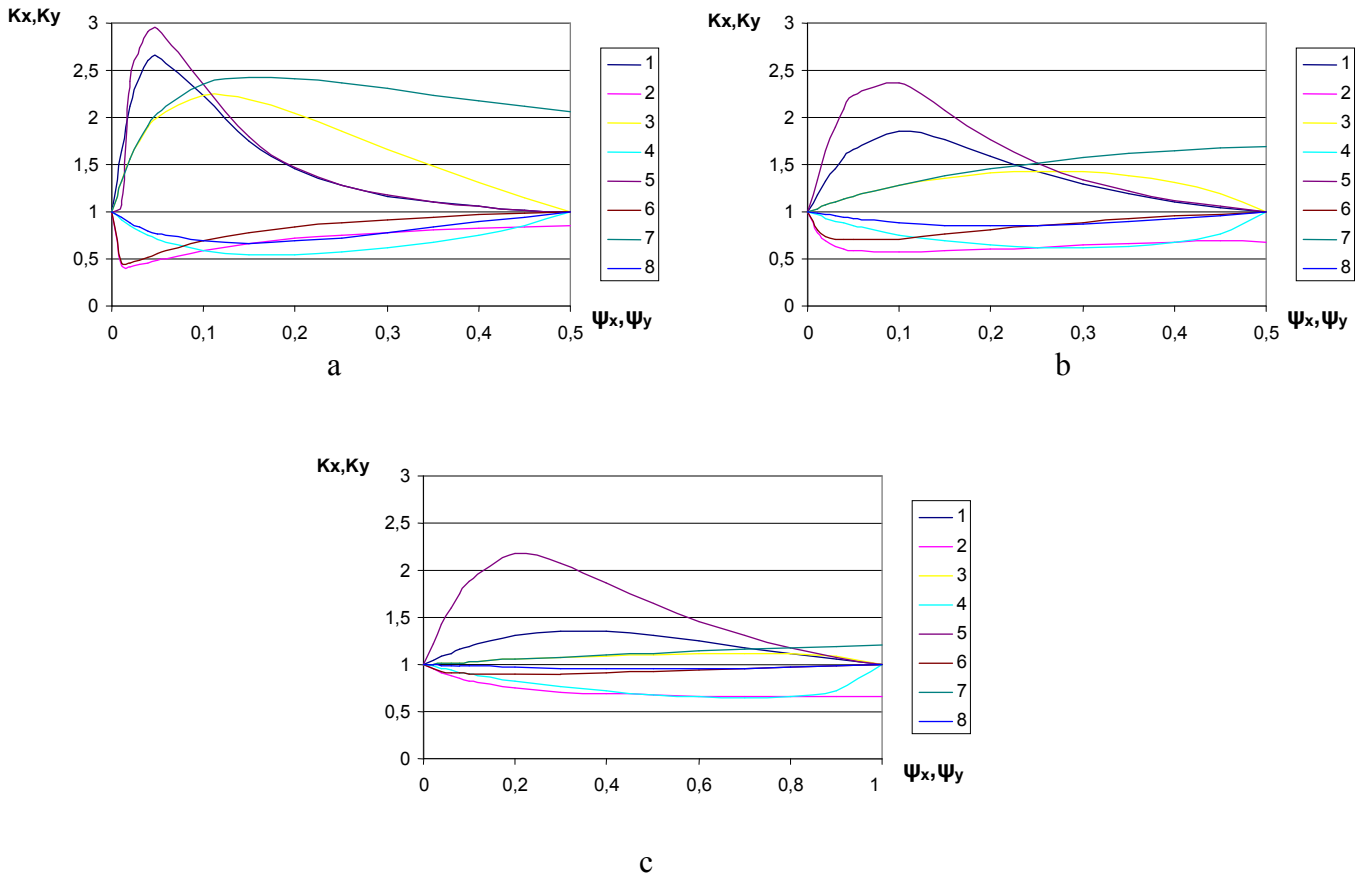
3.9 pav. 1, 2, 4, 5 konstrukcijų neutralios ašies padėties koeficientų K_x , K_y priklausomybė nuo sluoksnio storio ψ . 3.7 pav. a, kai $\psi = 0,2$; 3.7 pav. b, kai $\psi = 0,5$; 3.7 pav. c, kai $\psi = 0,8$ tamprumo modulių santykis $E_1/E_2 = 10$, o rezultatai pateikti priedo 17, 18, 19 lentelėje.

1 konstrukcija (1, 2 kreivė). Kai konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos 1 kreivė turi minimalią reikšmę, o kreivė 2 turi maksimalią reikšmę. Kreivės 1 maksimumas, t.y. $K_x = 2,653$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_x = 0$. Kreivės 2 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi_x = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,414$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,04$.

2 konstrukcija (3, 4 kreivė). Kai $\psi_y = 0$ konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos ir standumo centras sutampa su geometriniu centru, tada kreivė 3 įgauna minimalią reikšmę, o kreivė 4 įgauna maksimalią reikšmę. Kreivės 3 maksimumas, t.y. $K_x = 2,231$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,2$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_y = 0$. Kreivės 4 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi_y = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,548$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,2$.

3 konstrukcija (5, 6 kreivė). Kreivės 5 maksimumas, t.y. $K_x = 2,942$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_x = 0$. Kreivės 6 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi_x = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,454$, kai $\psi_y = 0,2$, o $\psi_x = 0,02$.

4 konstrukcija (7, 8 kreivė). Kreivės 7 maksimumas, t.y. $K_x = 2,364$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,5$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x = 1$, kai $\psi_y = 0$. Kreivės 8 maksimumas, t.y. $K_y = 1$, kai $\psi_y = 0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y = 0,632$, kai $\psi_x = 0,2$, o $\psi_y = 0,3$.



3.9 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio parametro: $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$; kreivės 1 ir 2 – 1 konstrukcijos; 4 ir 5 – 2 konstrukcijos; 5 ir 6 – 4 konstrukcijos; 7 ir 8 – 4 konstrukcijos.

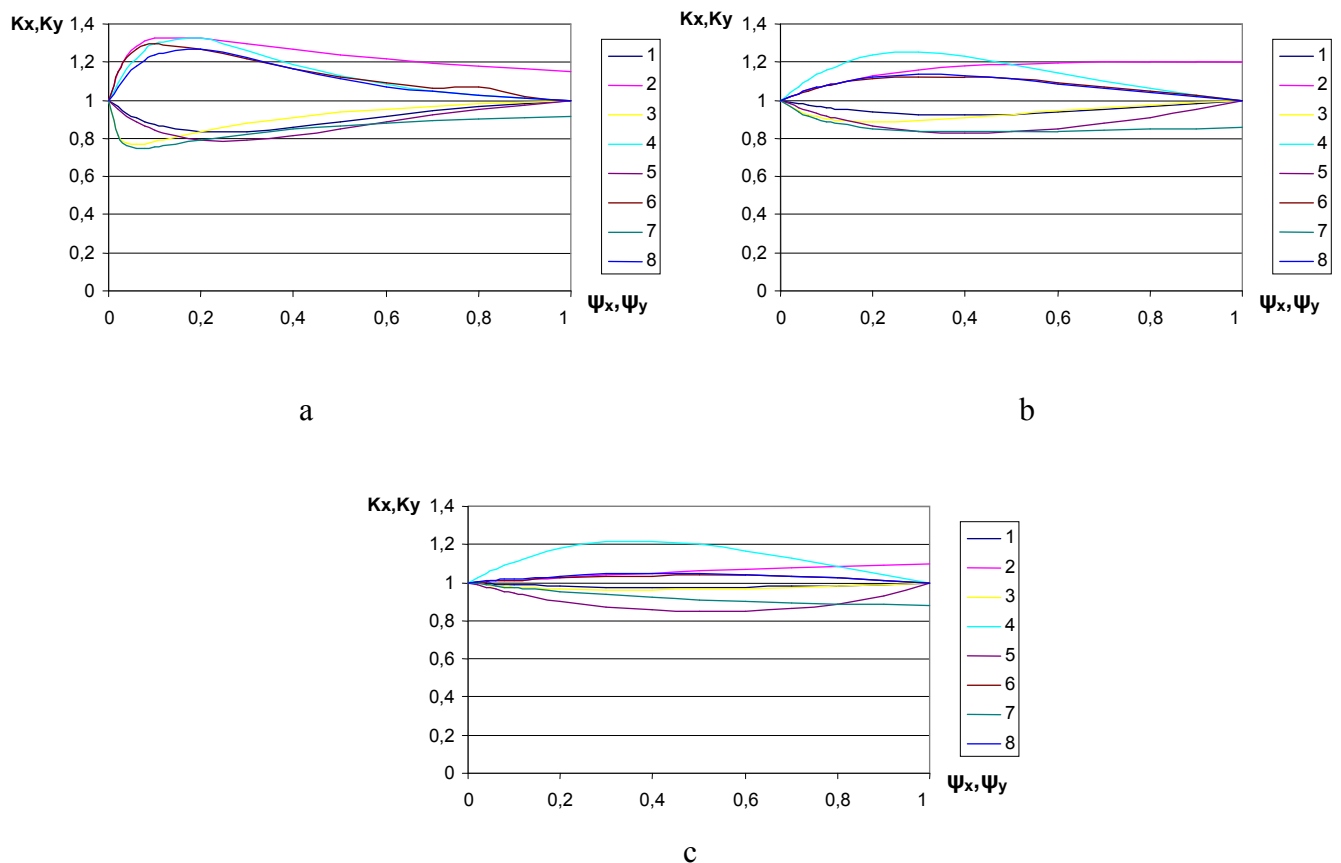
3.10 pav. 1, 2, 4, 5 konstrukcijų neutralios ašies padėties koeficientų K_x , K_y priklausomybė nuo sluoksnio storio ψ . 3.10 pav. a, kai $\psi=0,2$; 3.10 pav. b, kai $\psi=0,5$; 3.10 pav. c, kai $\psi=0,8$, tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$, o rezultatai pateikti priedo 20, 21, 22 lentelėje.

1 konstrukcija (1, 2 kreivė). Kai konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos 1 kreivė turi minimalią reikšmę, o kreivė 2 turi maksimalią reikšmę. Kreivės 1 maksimumas, t.y. $K_x=1$, kai $\psi_x=0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0,835$, kai $\psi_y=0,2$, o $\psi_x=0,2$. Kreivės 2 maksimumas, t.y. $K_y=1,327$, kai $\psi_y=0,2$, o $\psi_x=0,2$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi_x=0$.

2 konstrukcija (3, 4 kreivė). Kai $\psi_y=0$ konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos ir standumo centras sutampa su geometrinio centru, tada kreivė 3 įgauna minimalią reikšmę, o kreivė 4 įgauna maksimalią reikšmę. Kreivės 3 maksimumas, t.y. $K_x=1$, kai $\psi_y=0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0,769$, kai $\psi_x=0,2$, o $\psi_y=0,06$. Kreivės 4 maksimumas, t.y. $K_y=1,327$, kai $\psi_x=0,2$, o $\psi_y=0,2$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi_y=0$.

3 konstrukcija (5, 6 kreivė). Kai $\psi_x=0$ konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos ir standumo centras sutampa su geometrinio centru, tada kreivė 3 įgauna minimalią reikšmę, o kreivė 4 įgauna maksimalią reikšmę. Kreivės 3 maksimumas, t.y. $K_x=1$, kai $\psi_x=0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0,79$, kai $\psi_y=0,2$, $\psi_x=0,3$. Kreivės 4 maksimumas, t.y. $K_y=1,299$, kai $\psi_y=0,2$, o $\psi_x=0,1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi_x=0$.

4 konstrukcija (7, 8 kreivė). Kreivės 7 maksimumas, t.y. $K_x=1$, kai $\psi_y=0$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0,75$, kai $\psi_x=0,2$, o $\psi_y=0,08$. Kreivės 8 maksimumas, t.y. $K_y=1,269$, kai $\psi_x=0,2$, o $\psi_y=0,2$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi_y=0$.



3.10 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7) ir K_y (2,4,6,8) priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio parametro: $\psi=0,2$ – (a); $\psi=0,5$ – (b); $\psi=0,8$ – (c), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$; kreivės 1 ir 2 – 1 konstrukcijos; 4 ir 5 – 2 konstrukcijos; 5 ir 6 – 4 konstrukcijos; 7 ir 8 – 4 konstrukcijos.

3.11 pav. 1, 2, 4, 5 konstrukcijų neutralios ašies padėties koeficientų K_x , K_y priklausomybė nuo tamprumo modulių santykio, kintant sluoksnių storiui ψ . Rezultatai pateikti priedo 23 lentelėje.

3 konstrukcija (1, 2, 5, 6, 9, 10 kreivė). Kreivė 1 ir 2 yra kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$. Kreivės 1 maksimumas, t.y. $K_x=11,204$, kai $\psi=0,02$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0$

,kai $\psi=0$. Kreivės 2 maksimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi=1$. Didėjant sluoksnio storiui parametras K_x mažėja, o parametras K_y didėja.

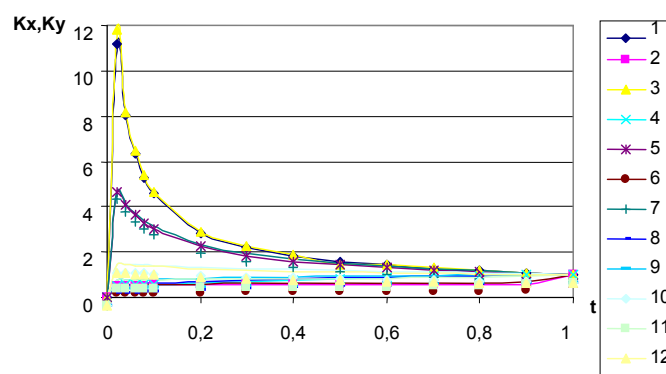
Kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$,tai yra 5 ir 6 kreivė. Sumažėjus tamprumo modulių santykiui, sumažėja geometrinio ir standumo centrų nesutapimas. Kreivės 5 maksimumas $K_x=4,65$,kai $\psi=0,02$. šios kreivės minimumas $K_x=0$,kai $\psi=0$. Kreivės 6 maksimumas $K_y=1$, kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas $K_y=0$, kai $\psi=0$.

Kreivės 9 ir 10 yra kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$. Gauname ,kad kreivė 9 didėja nes pirmojo sluoksnio tamprumo modulis mažesnis už antros medžiagos. Kreivės 9 maksimumas $K_x=1$,kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas $K_x=0$,kai $\psi=0$. Kreivės 10 maksimumas $K_y=1,476$, kai $\psi=0,02$ ir šios kreivės minimumas $K_y=0$, kai $\psi=0$.

6 konstrukcija (3, 4, 7, 8, 11, 12 kreivė). Kreivė 3 ir 4 yra kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$. Kreivės 3 maksimumas, t.y. $K_x=11,827$,kai $\psi=0,02$. Šios kreivės minimumas, t.y. $K_x=0$,kai $\psi=0$. Kreivės 4 maksimumas, t.y. $K_y=1$, kai $\psi=1$. Šios kreivė minimumas $K_y=0$, kai $\psi=0$. Didėjant sluoksnio storiui parametras K_x mažėja, o parametras K_y didėja.

Kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$,tai yra 7 ir 8 kreivė. Sumažėjus tamprumo modulių santykiui, sumažėja geometrinio ir standumo centrų nesutapimas. Kreivės 7 maksimumas $K_x=4,713$,kai $\psi=0,02$. šios kreivės minimumas $K_x=0$,kai $\psi=0$. Kreivės 8 maksimumas $K_y=1$, kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas $K_y=0$, kai $\psi=0$.

Kreivių 11 ir 12 tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$. Gauname ,kad kreivė 11 didėja nes pirmojo sluoksnio tamprumo modulis mažesnis už antros medžiagos. Kreivės 11 maksimumas $K_x=1$,kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas $K_x=0$,kai $\psi=0$. Kreivės 12 maksimumas $K_y=1,467$, kai $\psi=0,02$ ir šios kreivės minimumas $K_y=0$, kai $\psi=0$.



3.11 pav. Standumo ir geometrinio centrų nesutapimo santykių K_x (1,3,5,7,9,11) ir K_y (2,4,6,8,10,12) priklausomybė nuo tamprumo modulių santykio , kai $E_1/E_2=37,5$ – (1,2,3,4); $E_1/E_2=10$ – (5,6,7,8); $E_1/E_2=0,5$ – (9,10,11,12); kreivės: 1, 2, 5, 6, 9 ,10 – 3 konstrukcijos; 3, 4,7 ,8, 11, 12 – 6 konstrukcijos.

3.2. Standumo tyrimas

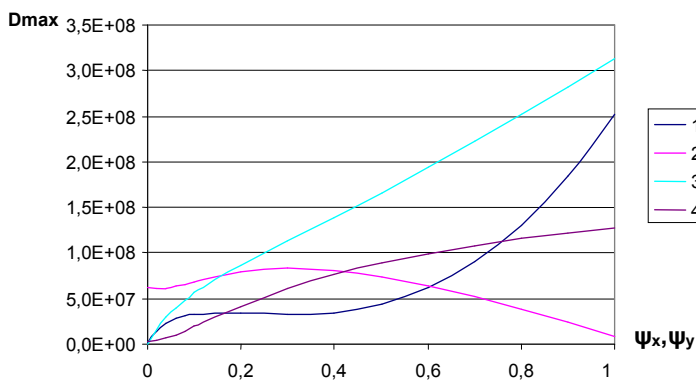
3.12 pav. pavaizduota sijos standumo D priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio koeficiento ψ , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$ esant 1, 2, 4, 5 konstrukcijoms. Skaičiavimo rezultatai pateikti priedo 24, 25, 26 lentelėje.

1 konstrukcija (1 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus antrajam sluoksniui ir didėjant jos kiekiui kai $\psi_x=0,2 \dots 1$ standumas mažėja, nors pirmosios medžiagos tamprumo modulis yra didesnis, bet antros medžiagos kiekis yra didesnis ir tamprumo modulis mažesnis, kas nulemia standumo mažėjimą. Kai sluoksnių storių koeficientas $\psi_y=1$, konstrukcija yra sudaryta iš vienos medžiagos. Kaip matome maksimalu standumą gauname, kai $\psi_x=0,9$, tai $D_{\max}=1,84 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$ yra kai $\psi_x=0$.

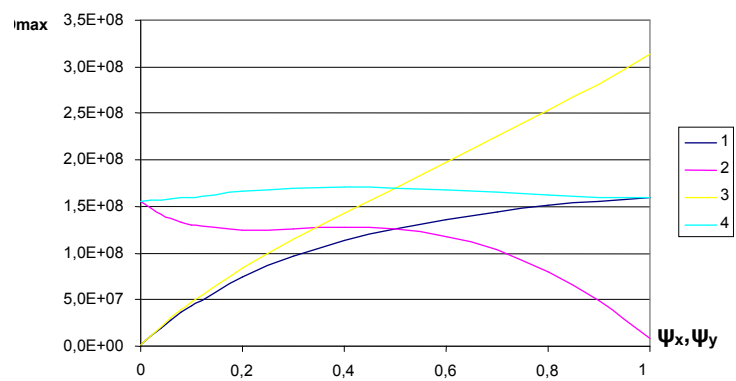
2 konstrukcija (2 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajam sluoksniui ir didėjant jos kiekiui standumas mažėja, nes antrosios medžiagos tamprumo modulis mažesnis nei pirmosios. Kai sluoksnių storių koeficientas $\psi_y=1$, konstrukcija sudaryta iš dviejų medžiagų. Kaip matome maksimalu standumą gauname, kai $\psi_y=0$, o $\psi_x=0,8$ t.y. $D_{\max}=2,5 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, nes šiuo atveju konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos. Šios kreivės minimumas yra kai $\psi_y=1$ $D_{\min}=8,33 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, konstrukcija sudaryta iš vienos medžiagos su mažesniu tamprumo moduliui.

4 konstrukcija (3 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus antrajam sluoksniui ir mažėjant jos kiekiui standumas ir toliau didėja, nes pirmosios medžiagos tamprumo modulis medžiagos kiekis didesnis. Šios kreivės maksimumas, t.y. $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=1,04 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0$.

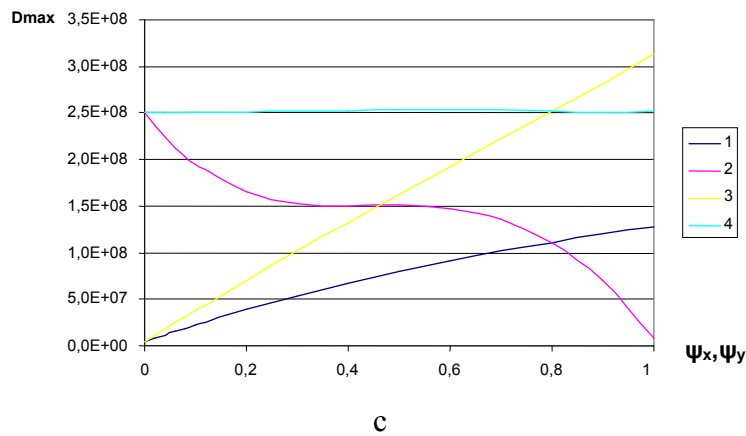
5 konstrukcija 2.1 pav. e (4 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajam sluoksniui ir didėjant jos kiekiui standumas didėja. Šios kreivės maksimumas, t.y. $D_{\max}=2,53 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=0,6$, o $\psi_x=0,8$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=0$, $\psi_x=0,2$.



a



b



3.12 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{\max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai $E_1/E_2=37,5$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c)
Kreivės: 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos .

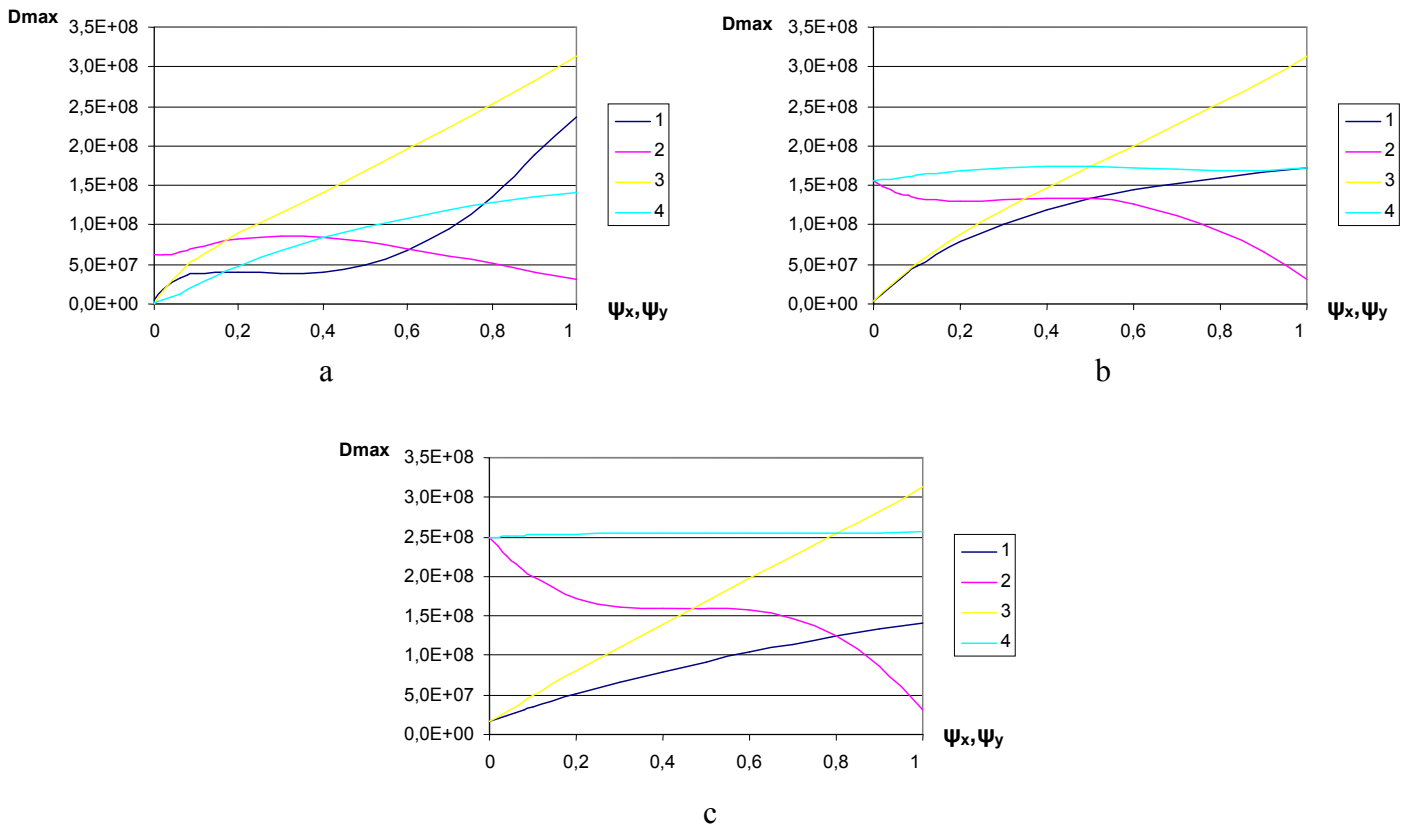
3.13 pav. pavaizduota sijos standumo D priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio koeficiento ψ , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=10$ esant 1, 2, 4, 5 konstrukcijoms. Skaičiavimo rezultatai pateikti priedo 27, 28, 29 lentelėje.

1 konstrukcija (1 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluoksnę konstrukciją. Atsiradus antrajam sluoksniui ir didėjant jos kiekiui standumas mažėja, nes antrosios medžiagos tamprumo modulis mažesnis. Kai sluoksnių storių koeficientas $\psi_x=1$, konstrukcija yra sudaryta iš vienos medžiagos. Ši kreivė pasiekia maksimumą prie minimalaus antrosios medžiagos kiekio t.y. kai $\psi_y=0,2$, $D_{\max}=2,36 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, o $\psi_x=1$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=3,91 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0$.

2 konstrukcija (2 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluoksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajam sluoksniui ir esant antrojo sluoksnio storiui $\psi_y=0$ standumas gaunamas maksimalus, pradėjus didėti antrojo sluoksnio storiui standumas pradeda mažėti. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=2,5 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0,8$, o $\psi_y=0$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=3,13 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=1$.

4 konstrukcija (3 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluoksnę konstrukciją. Atsiradus antrajai medžiagai su mažesniu tamprumo moduliui ir didėjant jos kiekiui standumas didėja. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=1$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=2,5 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0$, o $\psi_y=0,2$.

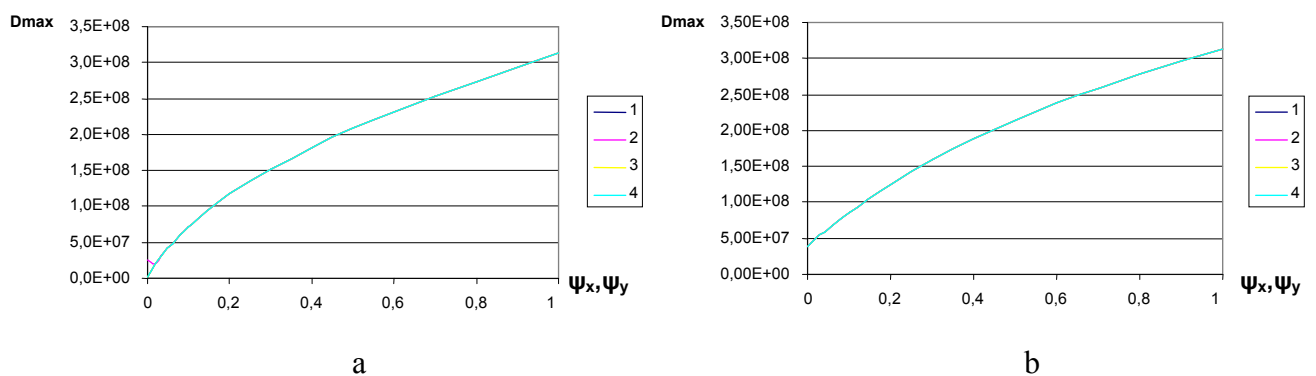
5 konstrukcija (4 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluoksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajai medžiagai ir didėjant jos kiekiui standumas didėja. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=2,56 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=1$, o $\psi_x=0,8$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=0$, o $\psi_x=0,2$.

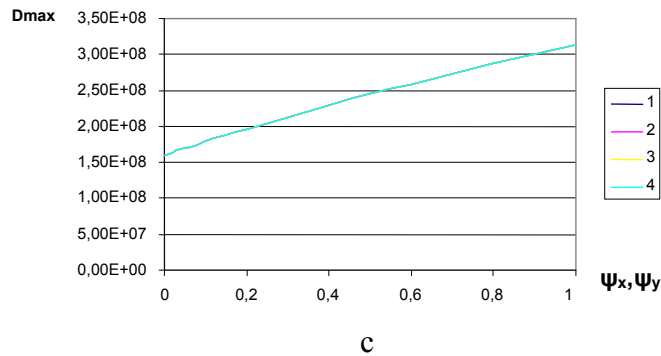


3.13 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ kai $E_1/E_2=10$, esant slauksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c); kreivės: 1 – 1 konstrukcija; 2 – 2 konstrukcija; 3 – 4 konstrukcija; 4 – 5 konstrukcija.

3.14 pav. pavaizduota sijos standumo D priklausomybė nuo santykinio slauksnių storio koeficiento ψ , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=1$ esant 1, 2, 4, 5 konstrukcijoms. Skaičiavimo rezultatai pateikti priedo 30, 31, 32 lentelėje.

Visais atvejais visų konstrukcijų t.y. 1, 2, 4, 5 standumo kreivės vienodos.





3.14 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{\max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ kai $E_1/E_2=1$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c);
Kreivė: 1, 2, 4, 5 konstrukcijos.

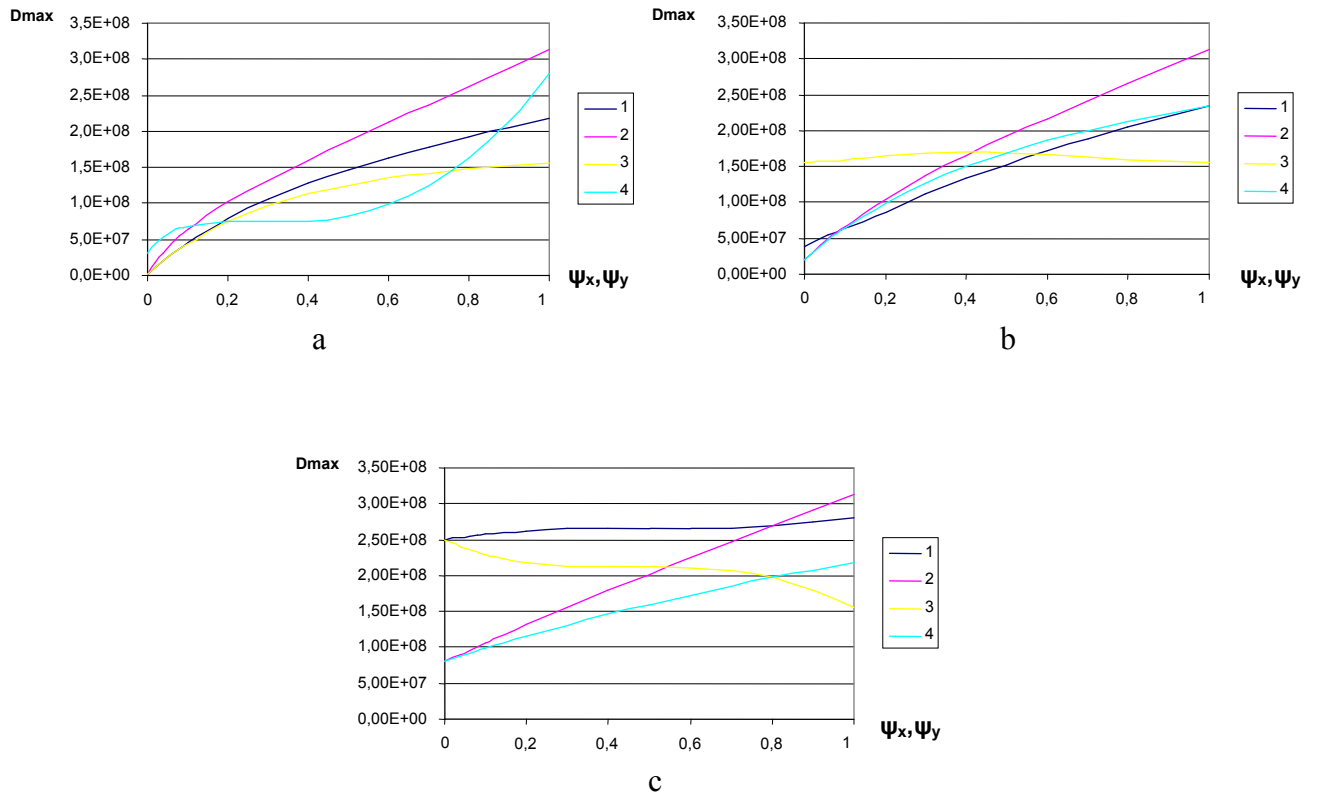
3.15 pav. pavaizduota sijos standumo D priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio koeficiento ψ , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$ esant 1, 2, 4, 5 konstrukcijoms. Skaičiavimo rezultatai pateikti priedo 33, 34, 35 lentelėje.

1 konstrukcija (1 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajai medžiagai ir didėjant jos kiekiui standumas didėja. Kai $\psi_y=0,2$ ir $0,5$ standumas stipriai didėja ir kai $\psi_x=1$ pasiekia maksimumą, kai $\psi_y=0,8$ standumas didėja labai mažai. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=2,81 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=1$, o $\psi_y=0,8$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=2,5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0$, o $\psi_y=0,2$.

2 konstrukcija (2 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus antrajai medžiagai ir didėjant jos kiekiui standumas didėja, kadangi antrosios medžiagos tamprumo modulis yra didesnis. Ši kreivė pasiekia maksimumą kai antroji medžiaga pasiekia maksimalų medžiagos kiekį t.y. kai $\psi_y=1$. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=1$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=1,25 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=0$, o $\psi_x=0,2$.

4 konstrukcija (3 kreivė). Kai $\psi_x=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus pirmajai medžiagai ir didėjant jos kiekiui standumas didėja. Standumas maksimumą pasiekia, kai $\psi_y=0,8$, $\psi_x=0$ $D_{\max}=2,5 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$. Šios kreivės minimumas $D_{\min}=2,56 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_x=0$, o $\psi_y=0,2$.

5 konstrukcija (4 kreivė). Kai $\psi_y=0$ turime vienasluksnę konstrukciją. Atsiradus antrajai medžiagai ir didėjant jos sluoksnio storiui t standumas didėja. Kai $\psi_x=0,2$, o $\psi_y=1$ gauname šios kreivės maksimumą $D_{\max}=2,81 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$. Didėjant sluoksnio storio parametrai ψ_x standumas mažėja, nes didėja pirmosios medžiagos kiekis. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=1,95 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2$, kai $\psi_y=0$, o $\psi_x=0,5$.



3.15 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{\max} kitimas priklausomai nuo parametro t kai $E_1/E_2=0,5$, esant sluoksnio parametro vertėms ψ : 0,2 – (a); 0,5 – (b); 0,8 – (c);
 Kreivės: 1 – 1 konstrukcijos; 2 – 2 konstrukcijos; 3 – 4 konstrukcijos; 4 – 5 konstrukcijos.

3.16 pav. pavaizduota sijos standumo D priklausomybė nuo santykinio sluoksnių storio koeficiento ψ , kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5; 10; 0,5; 1$ esant 3 ir 6 konstrukcijoms. Skaičiavimo rezultatai pateikti priedo 36 lentelėje.

6 konstrukcija (1 kreivė). Taškui A judant įstrižaine abiejų sluoksnių storiai didėja po lygiai, kai pirmosios medžiagos tamprumo modulis didesnis už antros ir didėjant jų sluoksnių storiui standumas didėja. Nes pirmoji medžiaga daro didesnę įtaką, kadangi jos medžiagos kiekis ir tamprumo modulis didesnis. Šios kreivės maksimumas, t.y. $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

3 konstrukcija (2 kreivė). Taškui A judant įstrižaine abiejų sluoksnių storiai didėja po lygiai. Standumas didėja iki $t=0,3$, kol yra didesnė pirmosios medžiagos įtaka, toliau didėjant antrosios medžiagos kiekiui standumas mažėja. Ši kreivė maksimumą pasiekia, t.y. $D_{\max}=1,3 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0,6$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

6 konstrukcija (3 kreivė). Šiuo atveju standumas didėja didėjant parametrai ψ , nes pirmosios medžiagos sluoksnis yra per visą konstrukcijos aukštį ir judant taškui A įstrižaine jos vis daugėja, o

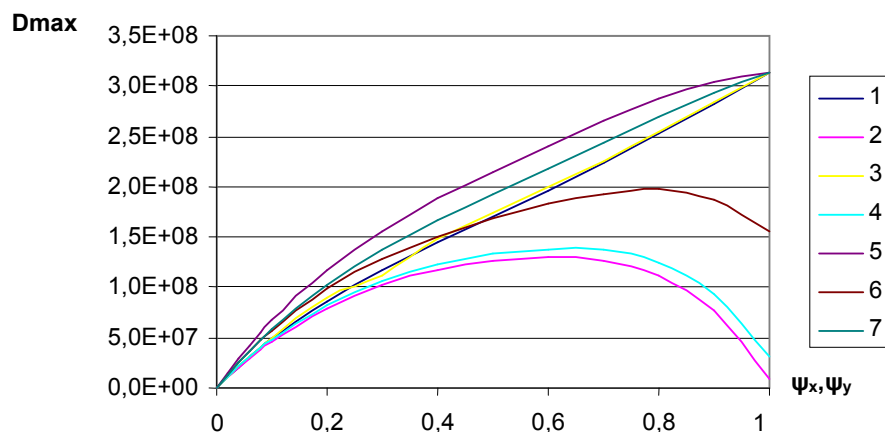
antrosios medžiagos kiekis mažėja. Ši kreivė pasiekia maksimumą $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$ kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

3 konstrukcija (4 kreivė). Kreivė 4 maksimumą $D_{\max}=1,38 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$ pasiekia, kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

6 konstrukcija (5 kreivė). Kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$, standumas didėja. Šios kreivės maksimumas $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=1$, minimumas $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

3 konstrukcija (6 kreivė). Kintant parametru ψ standumas didėja iki $\psi=0,7$, toliau didėjant parametru ψ standumas mažėja. Kreivės 6 maksimumas, t.y. $D_{\max}=1,93 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0,7$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.

3, 6 konstrukcija (7 kreivė). Kai abiejų sluoksnių tamprumo moduliai lygūs, didėjant parametru ψ standumas didėja abiejuose konstrukcijose. Šios kreivės maksimumas, t.y. $D_{\max}=3,13 \cdot 10^8 \text{ Nm}^2$ kai $\psi=1$. Šios kreivės minimumas, t.y. $D_{\min}=0 \text{ Nm}^2$, kai $\psi=0$.



3.16 pav. Maksimalaus standumo lenkimui D_{\max} kitimas priklausomai nuo parametro ψ , kai

$E_1/E_2=37,5$ – (1,2); $E_1/E_2=10$ – (3,4); $E_1/E_2=0,5$ – (5,6); $E_1/E_2=1$ – (7)

Kreivės: 2, 4, 6, 7 – 3 konstrukcijos; 1, 3, 5, 7 – 6 konstrukcijos.

3.2. Daugiasluoksnės sijos stiprumo tyrimas

3.2.1 Normalinių įtempimų pasiskirstymas DKE skerspjūvyje

Normalinis įtempimas bet kurio daugiasluoksnio konstrukcinio elemento sluoksnyje apskaičiuojami iš lygties 2.10. Iš šios lygties matome, jog įtempimų dydis priklauso tik nuo sluoksnio medžiagos tamprumo modulio.

Kadangi daugiasluoksnė sija pereina iš vieno sluoksnio į kitą visada gaunamas įtempimo šuolis, proporcingas tų sluoksnių tamprumo modulių santykiui, todėl įtempimas sekančiame sluoksnyje gali būti apskaičiuoti iš priklausomybės:

$$\sigma_{i+1} = \sigma_i \frac{E_{i+1}}{E_i}. \quad (3.3)$$

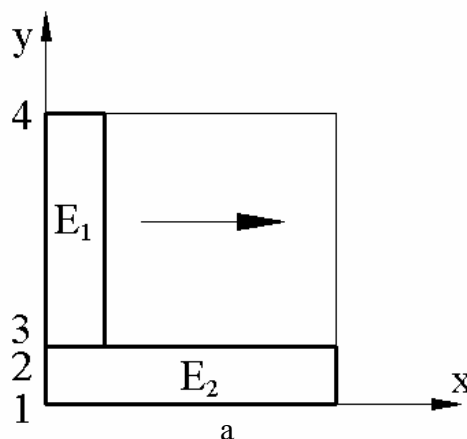
Kai konstrukcija nesimetriška reikia nustatyti svarbiausių inercijos ašių krypties kampą:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x}, \quad (3.4)$$

čia I_{xy} – išcentrinis inercijos momentas;

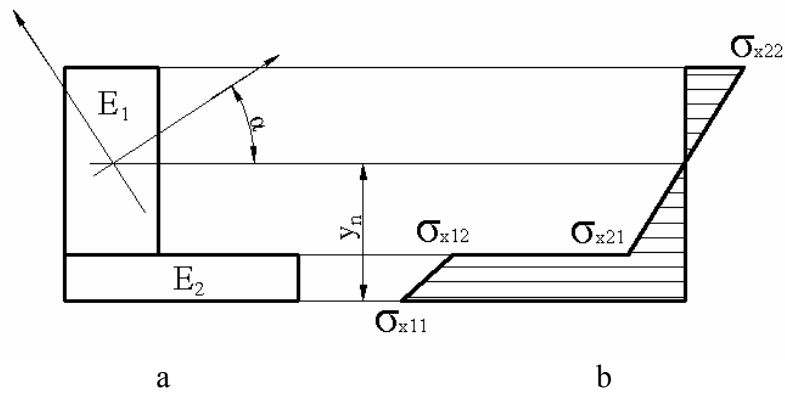
I_y ir I_x – inercijos momentai.

Priklausomai nuo to, ar einama iš didesnį tamprumo modulį turinčios medžiagos ar iš mažesnį skiriasi normalinio įtempimo diagramų pobūdis. 3.17 pav. parodytos bandinių konstrukcijos ir jose pažymėti taškai, kuriuose skaičiavau įtempimus. Priėmiau, jog sija lenkiama jėga $F=20$ kN, vadinasi lenkimo momentas $M=F \cdot l=20000 \cdot 1=20000$ Nm.



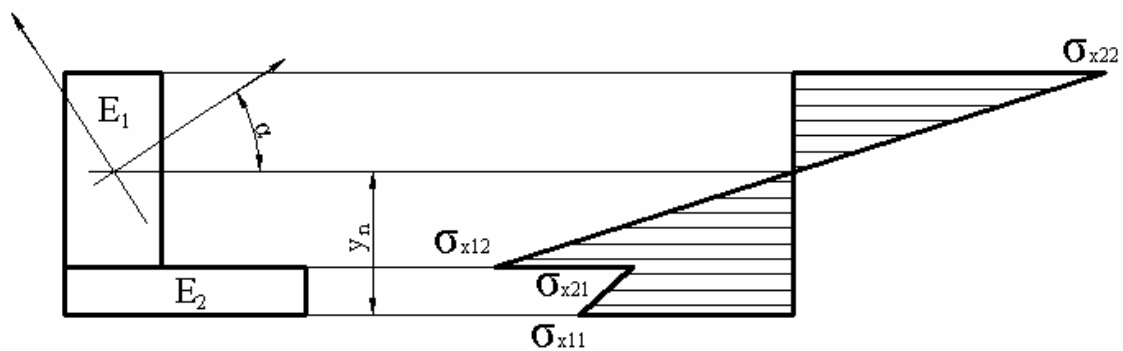
3.17 pav. bandinio konstrukcija : taškas 1 – σ_{x11} ; taškas 2 – σ_{x12} ;
taškas 3 – σ_{x21} ; taškas 4 – σ_{x22}

3.18 pav. pavaizduotas dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a) ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame (b), kai $E_1/E_2=37,5$; $\psi_x=0,4$; $y_n=0,2959$ m (skaičiavimo rezultatai priedo 37 lentelėje).



3.18 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$ ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame (b).

3.19 pav. pavaizduotas dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a) ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame (b), kai $E_1/E_2=0,5$; $\psi_x=0,4$; $y_n=0,2959$ m (skaičiavimo rezultatai priedo 38 lentelėje).



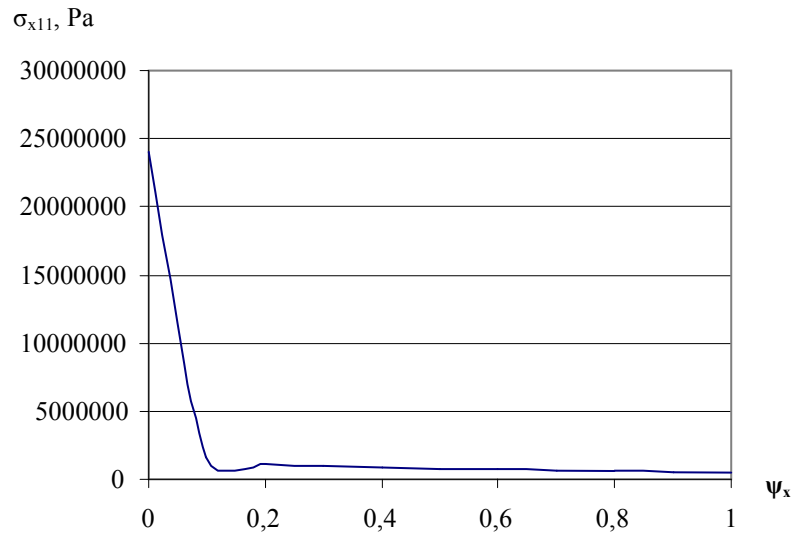
3.19 pav. Dvisluoksnės sijos skerspjūvis (a), kai tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=0,5$ ir normalinių įtempimų pasiskirstymas jame (b).

Taigi, kaip matome iš 3.18 pav., 3.19 pav., priklausomai nuo to, ar einama iš didesnį tamprumo modulį turinčios medžiagos ar iš mažesnį, skiriasi normalinio įtempimo diagramų pobūdis. Jei einama į mažesnį tamprumo modulį turinčios medžiagos sluoksnį, tai įtempimai sumažėja, jei į didesnį – padidėja.

3.2.2. Sluoksnio storio įtaka įtempimams

Iš 2.10 lygties matyti, jog normalinių įtempimų dydis yra tiesiog proporcingas sluoksnio medžiagos tamprumo moduliui ir atstumui nuo nagrinėjamo pjūvio neutralaus sluoksnio, ir atvirkščiai proporcingas standumo kitimui.

3.20 pav. pateikta 1 taško(1 konstrukcijos) įtempimo σ_x kitimo priklausomybė nuo santykinio sluoksnio storio parametro ψ_x , kai $\psi_y=0,2$, tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$ skaičiavimo rezultatai pateikti priede 37 lentelėje.



3.20 pav. Įtempimo σ_{x11} kitimo priklausomybė nuo santykinio sluoksnio storio koeficiento ψ_x , kai $\psi_y=0,2$, tamprumo modulių santykis $E_1/E_2=37,5$.

Įtempimo kitimo intensyvumai yra skirtingi, nes išoriniame sluoksnyje įtempimas σ_{x11} kinta atvirkščiai proporcingai sijos standumui D kitimui, o vidurinio sluoksnio maksimalaus įtempimo σ_{x21} kitimas yra lėtesnis, nes (σ_{x21}) yra dviejų kintamųjų ψ ir D funkcija. Asimetrinių dvisluoksnių konstrukcinių elementų išorinių sluoksnių paviršių įtempimas σ_x mažėja didėjant sluoksnių medžiagų tamprumo modulių santykiui.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Išnagrinėta neutraliųjų sluoksnių padėties, standumo lenkimui kitimo dėsningumai šešių tipų asimetriniuose daugiasluoksniuose konstrukciniuose elementuose priklausomai nuo sluoksnių storių bei juos sudarančių medžiagų tamprumo modulių kitimo. Analizė atlikta naudojant analitines išraiškas.

2. Nustatyta, kad standumo ir geometrinių centrų kitimo kreivių pobūdis bei tarp šių centrų nesutapimo santykių K_x ir K_y kitimo priklausomybės priklauso nuo dvisluoksnės konstrukcijos formavimo būdo, t.y. kai sluoksnių kontakto bendras taškas A juda vertikalia, horizontalia ar diagonale (45° kampo) kryptimis, bei sluoksnius sudarančių medžiagų tamprumo modulių santykio.

3. Gauta, kad didžiausi nesutapimai tarp geometrinių ir standumo centrų yra gauti ketvirtoje dvisluoksnėje konstrukcijoje.

4. Išnagrinėta maksimalaus standumo D_{max} kitimo dėsningumai asimetrinėse dvisluoksnėse sijose, priklausomai nuo parametro ψ ir sluoksnius sudarančių medžiagų tamprumo modulių. Didžiausia įtaka standumui turi sluoksnio medžiagos tamprumo modulis ir jį turinčio sluoksnio geometrija.

5. Normalinio įtempimo σ_x priklausomybių nuo parametro ψ tyrimai rodo, jog didėjant sluoksnių storiui su mažesniu medžiagos tamprumo modulių, įtempimų dydžiai išauga, didėjant sluoksnių storiui su didesniu medžiagos tamprumo modulių, įtempimų dydžiai sumažėja.

LITERATŪRA

1. Bareišis J. Konstrukcinių kompozitų statinis ir ciklinis stiprumas. Habilitacinio darbo santrauka. Kaunas : Technologija, 1995.33 p.
2. Bareišis J. Konstrukcinis stiprumas ir patikimumas. II d. Panevėžys, 2003.41 p.
3. Bareišis J. Daugiasluoksnių strypų standumas ir stiprumas / J. Bareišis, G. Garuckas // Mechanika. ISSN 1392 – 1207. 2000, nr. 4(24), p.23 – 29.
4. Bareišis J. Standumo centro ir neutraliųjų sluoksnių krypčių tyrimo metodika ir jos taikymas asimetriniams daugiasluoksniams konstrukciniams elementams tirti / J. Bareišis, V. Kleiza // Mechanika. ISSN 1392 – 1207. 2004, nr. 4(48), p.5 – 12.
5. Bareišis J. Daugiasluoksnių kompozicinių konstrukcinių elementų projektavimas (mokomoji knyga) / J. Bareišis, V. Paulauskas. Kaunas : Technologija, 1995. 48 p. ISBN 9986 – 13 – 305 – X.
6. Bareišis J. Daugiasluoksnių sijų skerspjūvio formos įtaka jų standumui lenkiant / J. Bareišis, V. Kleiza // Mechanika. ISSN 1392 – 1207. nr. 1(47), p.5 – 13.
7. Čižas A. Medžiagų atsparumas. Konstrukcinių elementų mechanika. Vilnius : Technika, 1993. 408 p.
8. Garuckas D. Sluoksniuotų kompozicinių konstrukcinių elementų stiprumo ir standumo tyrimas. Daktaro disertacija. Kaunas : Technologija, 2000. 109 p.
9. Kvedaras A. K. Vilnius Gediminas Technical University. The strenght and stability evulations of composite concrete – filled stele tubular structures // Strenght, durability and stability of materials and structure. Proceedings of the 3rd International conferance SDSMS'03. Klaipėda, 2003. p 102 – 116.
10. Požėla I. Deformacijos ir įtempimai daugiasluoksniuose dariniuose. Pagrindinės lygtys / I. Požėla, S. Tamulevičius, D. Girdauskienė. Iš medžiagotyra [interaktyvus]. 1999, nr.3 (10).
11. Тимошенко С. П., Gere Д. Ж. Механика материалов. Москва : Мирб 1976ю 669 с.
12. Žiliukas A. Medžiagų mechanika. Kaunas: Technologija, 2001. 595 p. ISBN 9955 – 09 – 090 – 1.

1 lentelė

ψ_x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_c	0,05	0,1214	0,1611	0,1864	0,2038	0,2167	0,2265	0,2342	0,2405	0,2457	0,25
y_c	0,25	0,1857	0,1611	0,1545	0,1577	0,1667	0,1794	0,1947	0,2119	0,2304	0,25
x_c	0,125	0,1477	0,1667	0,1827	0,1964	0,2083	0,2188	0,2279	0,2361	0,2434	0,25
y_c	0,25	0,2295	0,2167	0,2096	0,2071	0,2083	0,2125	0,2191	0,2278	0,2382	0,25
x_c	0,20	0,2061	0,2119	0,2174	0,2227	0,2278	0,2326	0,2372	0,2417	0,2459	0,25
y_c	0,25	0,2445	0,2405	0,2378	0,2364	0,2361	0,2370	0,2388	0,2417	0,2454	0,25

2 lentelė

ψ_y	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_c	0,25	0,1857	0,1611	0,1545	0,1577	0,1667	0,1799	0,1947	0,2119	0,2304	0,25
y_c	0,05	0,1214	0,1611	0,1864	0,2038	0,2167	0,2265	0,2342	0,2405	0,2457	0,25
x_c	0,25	0,2295	0,2167	0,2096	0,2071	0,2083	0,2125	0,2191	0,2278	0,2382	0,25
y_c	0,125	0,1477	0,1667	0,1827	0,1964	0,2083	0,2188	0,2279	0,2361	0,2434	0,25
x_c	0,25	0,2445	0,2405	0,2378	0,2364	0,2361	0,2370	0,2388	0,2417	0,2454	0,25
y_c	0,20	0,2061	0,2119	0,2174	0,2227	0,2278	0,2326	0,2372	0,2417	0,2459	0,25

3 lentelė

ψ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_c	0	0,1434	0,1611	0,1779	0,1938	0,2083	0,2214	0,2327	0,2417	0,2477	0,25
y_c	0	0,1434	0,1611	0,1779	0,1938	0,2083	0,2214	0,2327	0,2417	0,2477	0,25

4 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,0565	0,0788	0,1025	0,1266	0,1511	0,1757	0,2004	0,2252	0,25
y_E	0,05	0,2919	0,2946	0,2959	0,2967	0,2973	0,2976	0,2979	0,2982	0,2983
x_E	0,05	0,0565	0,0608	0,0663	0,0735	0,0833	0,0975	0,1196	0,1591	0,25
y_E	0,25	0,2919	0,3115	0,3296	0,3456	0,3583	0,3657	0,3630	0,3386	0,25
x_E	0,25	0,0522	0,0781	0,1020	0,1263	0,1509	0,1756	0,2003	0,2251	0,25
y_E	0,05	0,2458	0,2475	0,2484	0,2489	0,2493	0,2495	0,2497	0,2499	0,25
x_E	0,05	0,0552	0,0578	0,0602	0,0627	0,0650	0,0674	0,0697	0,0719	0,0741
y_E	0,25	0,2458	0,2446	0,2439	0,2437	0,2440	0,2448	0,2461	0,2478	0,25

5 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,0722	0,0885	0,1088	0,1310	0,1540	0,1776	0,2015	0,2257	0,25
y_E	0,05	0,2722	0,2808	0,2853	0,2881	0,2900	0,2914	0,2924	0,2932	0,2939
x_E	0,05	0,0722	0,0853	0,1000	0,1167	0,1357	0,1577	0,1833	0,2136	0,25
y_E	0,25	0,2722	0,2809	0,2875	0,2917	0,2929	0,2904	0,2833	0,2705	0,25
x_E	0,25	0,0685	0,0861	0,1073	0,1299	0,1533	0,1771	0,2012	0,2256	0,25
y_E	0,05	0,2352	0,2411	0,2442	0,2461	0,2474	0,2483	0,2490	0,2496	0,25
x_E	0,05	0,0685	0,0768	0,0845	0,0917	0,0984	0,1047	0,1106	0,1162	0,1214
y_E	0,25	0,2352	0,2313	0,2293	0,2292	0,2306	0,2336	0,2379	0,2434	0,25

6 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,1929	0,1844	0,1833	0,1875	0,1955	0,2063	0,2192	0,2339	0,25
y_E	0,05	0,1214	0,1438	0,1611	0,175	0,1864	0,1958	0,2038	0,2107	0,2167
x_E	0,05	0,1929	0,2123	0,2239	0,2318	0,2375	0,2418	0,2451	0,2478	0,25
y_E	0,25	0,1214	0,1223	0,1326	0,1477	0,1656	0,1853	0,2061	0,2277	0,25
x_E	0,25	0,2038	0,1957	0,1938	0,1964	0,2026	0,2116	0,2227	0,2356	0,25
y_E	0,05	0,1269	0,1534	0,1750	0,1929	0,2079	0,2207	0,2318	0,2415	0,25
x_E	0,05	0,2038	0,2265	0,2405	0,250	0,2569	0,2621	0,2662	0,2695	0,2722
y_E	0,25	0,1269	0,1265	0,1357	0,150	0,1672	0,1864	0,2068	0,2280	0,25

7 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,0735	0,0893	0,1094	0,1313	0,1543	0,1778	0,2016	0,2257	0,25
y_E	0,125	0,3456	0,3546	0,3594	0,3623	0,3644	0,3658	0,3669	0,3678	0,3685
x_E	0,125	0,1266	0,1278	0,1293	0,1313	0,1343	0,1388	0,147	0,1655	0,25
y_E	0,25	0,2967	0,3194	0,3414	0,3623	0,3815	0,3973	0,4060	0,3939	0,25
x_E	0,25	0,0627	0,0825	0,1049	0,1283	0,1522	0,1764	0,2008	0,2254	0,25
y_E	0,125	0,2437	0,2462	0,2475	0,2484	0,2489	0,2493	0,2496	0,2498	0,25
x_E	0,125	0,1263	0,1270	0,1276	0,1283	0,1289	0,1296	0,1302	0,1309	0,1315
y_E	0,25	0,2489	0,2486	0,2484	0,2484	0,2484	0,2486	0,2490	0,2494	0,25

8 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,1167	0,1188	0,130	0,1458	0,1643	0,1844	0,2056	0,2275	0,25
y_E	0,125	0,2917	0,3125	0,325	0,3333	0,3393	0,3438	0,3472	0,350	0,3523
x_E	0,125	0,1310	0,1349	0,1397	0,1458	0,1538	0,1648	0,1806	0,2054	0,25
y_E	0,25	0,2881	0,3053	0,3206	0,3333	0,3423	0,3455	0,3389	0,3143	0,25
x_E	0,25	0,0917	0,1011	0,1174	0,1369	0,1581	0,1802	0,2031	0,2264	0,25
y_E	0,125	0,2292	0,2369	0,2413	0,2440	0,2460	0,2474	0,2485	0,2493	0,25
x_E	0,125	0,1299	0,1323	0,1346	0,1369	0,1392	0,1414	0,1435	0,1456	0,1477
y_E	0,25	0,2461	0,2449	0,2442	0,2440	0,2443	0,2451	0,2463	0,2479	0,25

9 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,2318	0,2272	0,225	0,225	0,2269	0,2306	0,2357	0,2422	0,25
y_E	0,125	0,1477	0,1576	0,1667	0,175	0,1827	0,1898	0,1964	0,2026	0,2083
x_E	0,125	0,1875	0,2039	0,2159	0,2250	0,2321	0,2379	0,2426	0,2466	0,25
y_E	0,25	0,1750	0,1671	0,1682	0,1750	0,1857	0,1992	0,2147	0,2318	0,25
x_E	0,25	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,25
y_E	0,125	0,150	0,1625	0,1750	0,1875	0,200	0,2125	0,2250	0,2375	0,25
x_E	0,125	0,1964	0,2188	0,2361	0,250	0,2614	0,2708	0,2788	0,2857	0,2917
y_E	0,25	0,1929	0,1844	0,1833	0,1875	0,1955	0,2063	0,2192	0,2339	0,25

10 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,1196	0,1209	0,1316	0,1470	0,1651	0,1849	0,2059	0,2276	0,25
y_E	0,20	0,3630	0,3844	0,3974	0,4060	0,4123	0,4169	0,4206	0,4235	0,4259
x_E	0,20	0,2004	0,2007	0,2011	0,2016	0,2024	0,2036	0,2059	0,2115	0,25
y_E	0,25	0,2979	0,3215	0,3446	0,3669	0,3881	0,4070	0,4206	0,4173	0,25
x_E	0,25	0,0697	0,0869	0,1078	0,1302	0,1535	0,1773	0,2013	0,2256	0,25
y_E	0,20	0,2461	0,2476	0,2484	0,2490	0,2493	0,2495	0,2497	0,2499	0,25
x_E	0,20	0,2003	0,2005	0,2007	0,2008	0,2010	0,2012	0,2013	0,2015	0,2017
y_E	0,25	0,2497	0,2497	0,2496	0,2496	0,2496	0,2497	0,2497	0,2499	0,25

11 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,1833	0,175	0,175	0,1806	0,19	0,2023	0,2167	0,2327	0,25
y_E	0,20	0,2833	0,3071	0,325	0,3369	0,35	0,3591	0,3667	0,3731	0,3786
x_E	0,20	0,2015	0,2025	0,2038	0,2056	0,2079	0,2113	0,2167	0,2265	0,25
y_E	0,25	0,2924	0,3123	0,3308	0,3472	0,3605	0,3685	0,3667	0,3426	0,25
x_E	0,25	0,1106	0,1143	0,1268	0,1435	0,1627	0,1833	0,2049	0,2272	0,25
y_E	0,25	0,2379	0,2421	0,2446	0,2463	0,2475	0,2483	0,2490	0,2496	0,25
x_E	0,20	0,2012	0,2019	0,2025	0,2031	0,2037	0,2043	0,2049	0,2055	0,2061
y_E	0,25	0,2490	0,2487	0,2485	0,2485	0,2485	0,2487	0,2490	0,2494	0,25

12 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0,25	0,2451	0,2437	0,2429	0,2426	0,2430	0,2440	0,2455	0,2475	0,25
y_E	0,20	0,2061	0,2090	0,2119	0,2147	0,2174	0,2201	0,2227	0,2253	0,2278
x_E	0,20	0,2192	0,2259	0,2313	0,2357	0,2395	0,2427	0,2455	0,2479	0,25
y_E	0,25	0,2038	0,1957	0,1938	0,1964	0,2026	0,2116	0,2227	0,2356	0,25
x_E	0,25	0,2662	0,2722	0,2765	0,2788	0,2790	0,2767	0,2714	0,2627	0,25
y_E	0,20	0,2068	0,2106	0,2147	0,2192	0,2242	0,2297	0,2357	0,2425	0,25
x_E	0,20	0,2227	0,2326	0,2417	0,250	0,2577	0,2648	0,2714	0,2776	0,2833
y_E	0,25	0,2318	0,2272	0,2250	0,2250	0,2269	0,2306	0,2357	0,2422	0,25

13 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
x_E	0	0,0565	0,0814	0,1064	0,1313	0,1563	0,1811	0,2059	0,2303	0,25
y_E	0	0,2919	0,3158	0,3394	0,3623	0,3844	0,4046	0,4206	0,4224	0,25
x_E	0	0,0552	0,0796	0,1039	0,1283	0,1526	0,1770	0,2013	0,2257	0,25
y_E	0	0,2458	0,2468	0,2476	0,2484	0,2489	0,2494	0,2497	0,2499	0,25
x_E	0	0,0722	0,0969	0,1214	0,1458	0,170	0,1938	0,2167	0,2375	0,25
y_E	0	0,2722	0,2938	0,3143	0,3333	0,350	0,3625	0,3667	0,350	0,25
x_E	0	0,0685	0,0914	0,1142	0,1369	0,1596	0,1823	0,2049	0,2275	0,25
y_E	0	0,2352	0,2386	0,2415	0,2440	0,2462	0,2476	0,2490	0,2498	0,25
x_E	0	0,1929	0,2046	0,2154	0,2250	0,2333	0,2402	0,2455	0,2488	0,25
y_E	0	0,1214	0,1398	0,1577	0,1750	0,1917	0,2076	0,2227	0,2369	0,25
x_E	0	0,2038	0,2208	0,2364	0,250	0,2611	0,2688	0,2714	0,2667	0,25
y_E	0	0,1269	0,1479	0,1682	0,1875	0,2056	0,2219	0,2357	0,2458	0,25
x_E	0	0,1611	0,1779	0,1938	0,2083	0,2214	0,2327	0,2417	0,2477	0,25
y_E	0	0,1611	0,1779	0,1938	0,2083	0,2214	0,2327	0,2417	0,2477	0,25

14 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	2,854	1,961	1,539	1,316	1,187	1,057	1,057	1,023	1
K_y	1	0,552	0,633	0,689	0,730	0,787	0,807	0,807	0,824	0,838
K_x	1	2,854	3,065	3,073	2,947	2,718	2,403	2,011	1,544	1
K_y	1	0,552	0,496	0,478	0,482	0,501	0,533	0,584	0,680	1
K_x	1	2,198	1,980	1,546	1,319	1,189	1,109	1,058	1,023	1
K_y	1	0,655	0,753	0,821	0,870	0,908	0,939	0,963	0,983	1
K_x	1	2,198	3,224	3,384	3,458	3,482	3,452	3,452	3,417	3,374
K_y	1	0,655	0,632	0,647	0,684	0,735	0,861	0,861	0,930	1

15 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	2,947	2,348	1,894	1,586	1,378	1,233	1,130	1,055	1
K_y	1	0,482	0,515	0,547	0,575	0,600	0,623	0,643	0,662	1,154
K_x	1	1,316	1,430	1,519	1,586	1,629	16,42	1,606	1,470	1
K_y	1	0,730	0,656	0,607	0,575	0,557	0,551	0,561	0,605	1
K_x	1	3,458	2,539	1,975	1,624	1,396	1,242	1,134	1,057	1
K_y	1	0,684	0,742	0,793	0,839	0,879	0,914	0,946	0,974	1
K_x	1	1,319	1,439	1,624	1,624	1,697	1,759	1,813	1,860	1,901
K_y	1	0,870	0,843	0,839	0,839	0,855	0,881	0,915	0,955	1

16 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	2,011	1,967	1,796	1,606	1,435	1,292	1,174	1,078	1
K_y	1	0,584	0,566	0,561	0,561	0,564	0,569	0,575	0,581	0,587
K_x	1	1,057	1,083	1,108	1,130	1,149	1,165	1,174	1,163	1
K_y	1	0,807	0,740	0,686	0,643	0,611	0,587	0,575	0,588	1
K_x	1	3,452	2,738	2,194	1,813	1,544	1,347	1,200	1,088	1
K_y	1	0,861	0,878	0,896	0,915	0,933	0,951	0,968	0,984	1
K_x	1	1,058	1,085	0,110	1,134	1,157	1,179	1,200	1,220	1,240
K_y	1	0,963	0,952	0,947	0,946	0,949	0,957	0,968	0,982	1

17 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	2,231	1,747	1,449	1,273	1,165	1,097	1,052	1,021	1
K_y	1	0,592	0,664	0,715	0,752	0,781	0,804	0,822	0,838	0,851
K_x	1	2,231	2,185	2,038	1,857	1,669	1,485	1,312	1,150	1
K_y	1	0,592	0,550	0,548	0,571	0,613	0,671	0,748	0,852	1
K_x	1	2,351	1,794	1,470	1,283	1,170	1,099	1,053	1,022	1
K_y	1	0,685	0,773	0,835	0,880	0,916	0,943	0,966	0,984	1
K_x	1	2,351	2,427	2,413	2,364	2,302	2,237	2,174	2,114	2,059
K_y	1	0,685	0,668	0,688	0,727	0,834	0,834	0,891	0,947	1

18 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	1,857	1,765	1,593	1,429	1,293	1,188	1,108	1,047	1
K_y	1	0,571	0,585	0,604	0,625	0,645	0,663	0,680	0,695	0,710
K_x	1	1,273	1,355	1,406	1,429	1,422	1,383	1,308	1,185	1
K_y	1	0,752	0,687	0,646	0,625	0,621	0,634	0,672	0,758	1
K_x	1	2,364	2,073	1,764	1,522	1,344	1,216	1,122	1,052	1
K_y	1	0,727	0,771	0,814	0,854	0,889	0,921	0,950	0,976	1
K_x	1	1,283	1,381	1,459	1,522	1,572	1,613	1,645	1,671	1,692
K_y	1	0,880	0,856	0,848	0,854	0,870	0,894	0,925	0,961	1

19 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	1,312	1,359	1,351	1,308	1,247	1,181	1,115	1,055	1
K_y	1	0,748	0,708	0,685	0,672	0,665	0,661	0,659	0,659	0,660
K_x	1	1,052	1,074	1,093	1,108	1,119	1,123	1,115	1,086	1
K_y	1	0,822	0,761	0,715	0,657	0,657	0,648	0,659	0,716	1
K_x	1	2,174	2,080	1,864	1,645	1,457	1,303	1,179	1,080	1
K_y	1	0,891	0,898	0,910	0,925	0,940	0,955	0,970	0,985	1
K_x	1	1,053	1,077	1,100	1,142	1,142	1,161	1,179	1,197	1,213
K_y	1	0,966	0,956	0,951	0,950	0,953	0,960	0,970	0,984	1

20 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	0,835	0,838	0,860	0,889	0,918	0,944	0,967	0,985	1
K_y	1	1,327	1,296	1,265	1,238	1,215	1,196	1,180	1,166	1,154
K_x	1	0,835	0,878	0,910	0,935	0,954	0,969	0,981	0,991	1
K_y	1	1,327	1,264	1,189	1,128	1,083	1,051	1,028	1,012	1
K_x	1	0,790	0,790	0,814	0,848	0,885	0,920	0,951	0,978	1
K_y	1	1,269	1,215	1,165	1,123	1,089	1,061	1,073	1,017	1
K_x	1	0,790	0,823	0,848	0,867	0,882	0,894	0,903	0,911	0,918
K_y	1	1,269	1,222	1,162	1,111	1,073	1,045	1,025	1,010	1

21 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	0,935	0,923	0,921	0,926	0,936	0,950	0,966	0,983	1
K_y	1	1,128	1,159	1,179	1,190	1,197	1,201	1,202	1,202	1,200
K_x	1	0,889	0,896	0,910	0,926	0,942	0,958	0,973	0,987	1
K_y	1	1,238	1,254	1,232	1,190	1,144	1,100	1,061	1,028	1
K_x	1	0,867	0,838	0,829	0,833	0,850	0,876	0,911	0,953	1
K_y	1	1,111	1,124	1,122	1,111	1,094	1,073	1,049	1,025	1
K_x	1	0,848	0,835	0,832	0,833	0,837	0,842	0,847	0,852	0,857
K_y	1	1,123	1,137	1,130	1,111	1,087	1,062	1,039	1,018	1

22 lentelė

ψ	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
K_x	1	0,981	0,976	0,973	0,973	0,975	0,979	0,985	0,992	1
K_y	1	1,028	1,040	1,051	1,061	1,070	1,078	1,085	1,092	1,098
K_x	1	0,967	0,963	0,963	0,966	0,971	0,978	0,985	0,992	1
K_y	1	1,180	1,215	1,220	1,202	1,169	1,129	1,085	1,041	1
K_x	1	0,903	0,874	0,855	0,847	0,849	0,863	0,890	0,934	1
K_y	1	1,025	1,033	1,037	1,039	1,038	1,033	1,025	1,014	1
K_x	1	0,951	0,935	0,922	0,911	0,903	0,896	0,890	0,886	0,882
K_y	1	1,037	1,047	1,051	1,049	1,044	1,036	1,025	1,013	1

23 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
K_x	0	2,854	2,185	1,821	1,586	1,417	1,285	1,174	1,076	1
K_y	0	0,552	0,563	0,571	0,575	0,576	0,575	0,575	0,587	1
K_x	0	2,918	2,236	1,864	1,451	1,451	1,315	1,200	1,098	1
K_y	0	0,655	0,721	0,782	0,839	0,889	0,933	0,968	0,991	1
K_x	0	2,231	1,837	1,596	1,429	1,303	1,201	1,115	1,043	1
K_y	0	0,592	0,606	0,616	0,625	0,633	0,642	0,659	0,708	1
K_x	0	2,351	1,948	1,697	1,522	1,387	1,277	1,179	1,089	1
K_y	0	0,685	0,746	0,802	0,854	0,900	0,939	0,970	0,992	1
K_x	0	0,835	0,870	0,900	0,926	0,949	0,969	0,985	0,996	1
K_y	0	1327	1,273	1,229	1,190	1,155	1,121	1,085	1,045	1
K_x	0	0790	0806	0820	0833	0848	0866	0890	0929	1
K_y	0	1269	1203	1152	1111	1077	1049	1025	1008	1

24 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$167 \cdot 10^6$	$339 \cdot 10^7$	$319 \cdot 10^7$	$343 \cdot 10^7$	$439 \cdot 10^7$	$623 \cdot 10^7$	$909 \cdot 10^7$	$131 \cdot 10^8$	$184 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$
	$625 \cdot 10^7$	$794 \cdot 10^7$	$834 \cdot 10^7$	$811 \cdot 10^7$	$743 \cdot 10^7$	$644 \cdot 10^7$	$524 \cdot 10^7$	$388 \cdot 10^7$	$241 \cdot 10^7$	$833 \cdot 10^7$
	$667 \cdot 10^4$	$87 \cdot 10^7$	$113 \cdot 10^8$	$139 \cdot 10^8$	$166 \cdot 10^8$	$194 \cdot 10^8$	$222 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$282 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$416 \cdot 10^7$	$608 \cdot 10^7$	$764 \cdot 10^7$	$891 \cdot 10^7$	$995 \cdot 10^7$	$108 \cdot 10^8$	$116 \cdot 10^8$	$122 \cdot 10^8$	$128 \cdot 10^8$

25 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$104 \cdot 10^6$	$743 \cdot 10^7$	$966 \cdot 10^7$	$113 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$136 \cdot 10^8$	$144 \cdot 10^8$	$151 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$
	$156 \cdot 10^8$	$124 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$128 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$118 \cdot 10^8$	$103 \cdot 10^8$	$798 \cdot 10^7$	$484 \cdot 10^7$	$833 \cdot 10^6$
	$104 \cdot 10^6$	$844 \cdot 10^7$	$115 \cdot 10^8$	$143 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$197 \cdot 10^8$	$225 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$282 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$156 \cdot 10^8$	$166 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$171 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$168 \cdot 10^8$	$165 \cdot 10^8$	$162 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$

26 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$427 \cdot 10^6$	$388 \cdot 10^7$	$538 \cdot 10^7$	$674 \cdot 10^7$	$798 \cdot 10^7$	$912 \cdot 10^7$	$102 \cdot 10^8$	$111 \cdot 10^8$	$12 \cdot 10^8$	$128 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^8$	$165 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$15 \cdot 10^8$	$151 \cdot 10^8$	$147 \cdot 10^8$	$136 \cdot 10^8$	$111 \cdot 10^8$	$697 \cdot 10^7$	$833 \cdot 10^6$
	$427 \cdot 10^6$	$703 \cdot 10^7$	$102 \cdot 10^8$	$132 \cdot 10^8$	$162 \cdot 10^8$	$192 \cdot 10^8$	$222 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$282 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$251 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$

27 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$625 \cdot 10^6$	$403 \cdot 10^7$	$385 \cdot 10^7$	$408 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$	$68 \cdot 10^7$	$962 \cdot 10^7$	$136 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$256 \cdot 10^8$
	$625 \cdot 10^7$	$823 \cdot 10^7$	$861 \cdot 10^7$	$841 \cdot 10^7$	$781 \cdot 10^7$	$699 \cdot 10^7$	$605 \cdot 10^7$	$507 \cdot 10^7$	$408 \cdot 10^7$	$313 \cdot 10^7$
	$25 \cdot 10^5$	$894 \cdot 10^7$	$116 \cdot 10^8$	$142 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$224 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$283 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$474 \cdot 10^7$	$677 \cdot 10^7$	$843 \cdot 10^7$	$98 \cdot 10^7$	$109 \cdot 10^8$	$119 \cdot 10^8$	$128 \cdot 10^8$	$135 \cdot 10^8$	$142 \cdot 10^8$

28 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$391 \cdot 10^6$	$781 \cdot 10^7$	$101 \cdot 10^7$	$119 \cdot 10^8$	$133 \cdot 10^8$	$144 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$166 \cdot 10^8$	$172 \cdot 10^8$
	$156 \cdot 10^8$	$13 \cdot 10^8$	$132 \cdot 10^8$	$134 \cdot 10^8$	$133 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$112 \cdot 10^8$	$923 \cdot 10^7$	$652 \cdot 10^7$	$313 \cdot 10^7$
	$391 \cdot 10^6$	$875 \cdot 10^7$	$119 \cdot 10^8$	$147 \cdot 10^8$	$174 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$	$227 \cdot 10^8$	$255 \cdot 10^8$	$283 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$156 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$173 \cdot 10^8$	$174 \cdot 10^8$	$174 \cdot 10^8$	$172 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$168 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$172 \cdot 10^8$

29 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$16 \cdot 10^7$	$507 \cdot 10^7$	$658 \cdot 10^7$	$796 \cdot 10^7$	$923 \cdot 10^7$	$104 \cdot 10^8$	$114 \cdot 10^8$	$124 \cdot 10^8$	$133 \cdot 10^8$	$142 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^8$	$173 \cdot 10^8$	$162 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$157 \cdot 10^8$	$147 \cdot 10^8$	$124 \cdot 10^8$	$868 \cdot 10^7$	$313 \cdot 10^7$
	$16 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$229 \cdot 10^8$	$245 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$254 \cdot 10^8$	$255 \cdot 10^8$	$255 \cdot 10^8$	$255 \cdot 10^8$	$254 \cdot 10^8$	$254 \cdot 10^8$	$255 \cdot 10^8$	$256 \cdot 10^8$

30 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$25 \cdot 10^6$	$118 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$182 \cdot 10^8$	$208 \cdot 10^8$	$231 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$293 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$118 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$182 \cdot 10^8$	$208 \cdot 10^8$	$231 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$293 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$118 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$182 \cdot 10^8$	$208 \cdot 10^8$	$231 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$293 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$118 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$182 \cdot 10^8$	$208 \cdot 10^8$	$231 \cdot 10^8$	$253 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$293 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$

31 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$391 \cdot 10^7$	$125 \cdot 10^8$	$159 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$215 \cdot 10^8$	$238 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$279 \cdot 10^8$	$296 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$391 \cdot 10^7$	$125 \cdot 10^8$	$159 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$215 \cdot 10^8$	$238 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$279 \cdot 10^8$	$296 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$391 \cdot 10^7$	$125 \cdot 10^8$	$159 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$215 \cdot 10^8$	$238 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$279 \cdot 10^8$	$296 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$391 \cdot 10^7$	$125 \cdot 10^8$	$159 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$215 \cdot 10^8$	$238 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$279 \cdot 10^8$	$296 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$

32 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$16 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$229 \cdot 10^8$	$245 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$16 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$229 \cdot 10^8$	$245 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$16 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$229 \cdot 10^8$	$245 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$16 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$229 \cdot 10^8$	$245 \cdot 10^8$	$259 \cdot 10^8$	$273 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$

33 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$25 \cdot 10^6$	$387 \cdot 10^7$	$106 \cdot 10^8$	$128 \cdot 10^8$	$147 \cdot 10^8$	$163 \cdot 10^8$	$178 \cdot 10^8$	$192 \cdot 10^8$	$205 \cdot 10^8$	$218 \cdot 10^8$
	$125 \cdot 10^6$	$102 \cdot 10^8$	$132 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$186 \cdot 10^8$	$212 \cdot 10^8$	$237 \cdot 10^8$	$262 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^6$	$747 \cdot 10^7$	$968 \cdot 10^7$	$113 \cdot 10^8$	$125 \cdot 10^8$	$135 \cdot 10^8$	$142 \cdot 10^8$	$148 \cdot 10^8$	$152 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$
	$313 \cdot 10^7$	$747 \cdot 10^7$	$744 \cdot 10^7$	$76 \cdot 10^7$	$833 \cdot 10^7$	$99 \cdot 10^7$	$125 \cdot 10^8$	$163 \cdot 10^8$	$214 \cdot 10^8$	$281 \cdot 10^8$

34 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$391 \cdot 10^7$	$885 \cdot 10^7$	$111 \cdot 10^8$	$133 \cdot 10^8$	$153 \cdot 10^8$	$172 \cdot 10^8$	$189 \cdot 10^8$	$205 \cdot 10^8$	$22 \cdot 10^8$	$234 \cdot 10^8$
	$195 \cdot 10^7$	$104 \cdot 10^8$	$137 \cdot 10^8$	$165 \cdot 10^8$	$192 \cdot 10^8$	$217 \cdot 10^8$	$242 \cdot 10^8$	$265 \cdot 10^8$	$289 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$156 \cdot 10^8$	$165 \cdot 10^8$	$168 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$167 \cdot 10^8$	$163 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$157 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$
	$195 \cdot 10^7$	$99 \cdot 10^7$	$127 \cdot 10^8$	$15 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$186 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$224 \cdot 10^8$	$234 \cdot 10^8$

35 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	$25 \cdot 10^8$	$262 \cdot 10^8$	$265 \cdot 10^8$	$265 \cdot 10^8$	$265 \cdot 10^8$	$266 \cdot 10^8$	$266 \cdot 10^8$	$269 \cdot 10^8$	$274 \cdot 10^8$	$281 \cdot 10^8$
	$8 \cdot 10^7$	$132 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$	$179 \cdot 10^8$	$202 \cdot 10^8$	$225 \cdot 10^8$	$247 \cdot 10^8$	$269 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	$25 \cdot 10^8$	$218 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$213 \cdot 10^8$	$211 \cdot 10^8$	$207 \cdot 10^8$	$197 \cdot 10^8$	$18 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$
	$8 \cdot 10^7$	$115 \cdot 10^8$	$131 \cdot 10^8$	$146 \cdot 10^8$	$16 \cdot 10^8$	$173 \cdot 10^8$	$185 \cdot 10^8$	$197 \cdot 10^8$	$207 \cdot 10^8$	$218 \cdot 10^8$

36 lentelė

ψ	0	02	03	04	05	06	07	08	09	1
D_{\max}	0	$87 \cdot 10^7$	$118 \cdot 10^8$	$145 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^8$	$196 \cdot 10^8$	$223 \cdot 10^8$	$252 \cdot 10^8$	$282 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	0	$794 \cdot 10^7$	$102 \cdot 10^8$	$117 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$13 \cdot 10^8$	$126 \cdot 10^8$	$111 \cdot 10^8$	$763 \cdot 10^7$	$833 \cdot 10^6$
	0	$894 \cdot 10^7$	$121 \cdot 10^8$	$148 \cdot 10^8$	$1,74 \cdot 10^8$	$199 \cdot 10^8$	$226 \cdot 10^8$	$254 \cdot 10^8$	$284 \cdot 10^8$	$3,13 \cdot 10^8$
	0	$823 \cdot 10^7$	$106 \cdot 10^8$	$122 \cdot 10^8$	$133 \cdot 10^8$	$138 \cdot 10^8$	$137 \cdot 10^8$	$124 \cdot 10^8$	$935 \cdot 10^7$	$313 \cdot 10^7$
	0	$102 \cdot 10^8$	$137 \cdot 10^8$	$166 \cdot 10^8$	$192 \cdot 10^8$	$218 \cdot 10^8$	$243 \cdot 10^8$	$269 \cdot 10^8$	$293 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$
	0	$981 \cdot 10^7$	$128 \cdot 10^8$	$151 \cdot 10^8$	$169 \cdot 10^8$	$184 \cdot 10^8$	$193 \cdot 10^8$	$197 \cdot 10^8$	$187 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$
	0	$118 \cdot 10^8$	$156 \cdot 10^8$	$188 \cdot 10^8$	$215 \cdot 10^8$	$24 \cdot 10^8$	$265 \cdot 10^8$	$287 \cdot 10^8$	$305 \cdot 10^8$	$313 \cdot 10^8$

37 lentelė

ψ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
σ_{x11}	$2,4 \cdot 10^7$	$1,66 \cdot 10^5$	$1,18 \cdot 10^5$	$9,81 \cdot 10^4$	$8,58 \cdot 10^4$	$7,66 \cdot 10^4$	$6,92 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$	$5,78 \cdot 10^4$	$5,33 \cdot 10^4$	$4,94 \cdot 10^4$
σ_{x12}	$2,4 \cdot 10^7$	$1,08 \cdot 10^5$	$7,74 \cdot 10^4$	$6,48 \cdot 10^4$	$5,68 \cdot 10^4$	$5,08 \cdot 10^4$	$4,59 \cdot 10^4$	$4,18 \cdot 10^4$	$3,84 \cdot 10^4$	$3,54 \cdot 10^4$	$3,28 \cdot 10^4$
σ_{x21}	$9 \cdot 10^8$	$4,04 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$	$2,43 \cdot 10^6$	$2,13 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,72 \cdot 10^6$	$1,57 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$	$1,33 \cdot 10^6$	$1,23 \cdot 10^6$
σ_{x22}	$8,1 \cdot 10^9$	$4,73 \cdot 10^6$	$3,15 \cdot 10^6$	$2,57 \cdot 10^6$	$2,22 \cdot 10^6$	$1,97 \cdot 10^6$	$1,77 \cdot 10^6$	$1,61 \cdot 10^6$	$1,47 \cdot 10^6$	$1,35 \cdot 10^6$	$4,04 \cdot 10^6$

38 lentelė

ψ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
σ_{x11}	$2,4 \cdot 10^7$	$2,45 \cdot 10^6$	$1,85 \cdot 10^6$	$1,63 \cdot 10^6$	$1,51 \cdot 10^6$	$1,43 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^6$	$1,27 \cdot 10^6$	$1,23 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$
σ_{x12}	$2,4 \cdot 10^7$	$2,23 \cdot 10^5$	$3,27 \cdot 10^5$	$4,97 \cdot 10^5$	$5,74 \cdot 10^5$	$6,14 \cdot 10^5$	$6,34 \cdot 10^5$	$6,44 \cdot 10^5$	$6,48 \cdot 10^5$	$6,47 \cdot 10^5$	$6,44 \cdot 10^5$
σ_{x21}	$1,2 \cdot 10^7$	$1,11 \cdot 10^5$	$1,63 \cdot 10^5$	$2,49 \cdot 10^5$	$2,87 \cdot 10^5$	$3,07 \cdot 10^5$	$3,17 \cdot 10^5$	$3,22 \cdot 10^5$	$3,24 \cdot 10^5$	$3,24 \cdot 10^5$	$3,22 \cdot 10^5$
σ_{x22}	$1,08 \cdot 10^8$	$5,45 \cdot 10^6$	$2,89 \cdot 10^6$	$2,03 \cdot 10^6$	$1,59 \cdot 10^6$	$1,33 \cdot 10^6$	$1,15 \cdot 10^6$	$1,02 \cdot 10^6$	$9,24 \cdot 10^5$	$8,45 \cdot 10^5$	$7,82 \cdot 10^5$