

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANINĖS TECHNOLOGIJOS KATEDRA

Marius Tručinskas

**ASIMETRIJOS ĮTAKA TEMPIAMŲ - GNIUŽDOMŲ
DVISLUOKSNIŲ STRYPŲ STIPRUMUI IR
STANDUMUI**

Magistro darbas

Vadovas

prof. habil. dr. J. Bareišis

ŠIAULIAI 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANINĖS TECHNOLOGIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

Lek. Z.Ramonas

2006 06 12

**ASIMETRIJOS ĮTAKA TEMPIAMŲ - GNIUŽDOMŲ
DVISLUOKSNIŲ STRYPŲ STIPRUMUI IR
STANDUMUI**

Magistro darbas

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto
Mechanikos inžinerijos katedros

Doc. R. Šniuolis

2006 06 12

Vadovas

Prof. habil. dr. J. Bareišis

2006 06 12

Atliko

MM-4 gr. Stud.

M. Tručinskas

2006 06 12

ŠIAULIAI 2006

SUMMARY

Tručinskas M. Influence of asymmetry tensioned (compressed) two-layer bars strength and stiffness: Master thesis of mechanical engineer / research advisor Assoc. Prof. habil. Dr. J. Bareišis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2006. – 47p.

Multilayer constructions at this time is very popular, because it is cheaper, we can reduce the weight and the rigidity make similarly. There is investigate asymmetry multilayer constructions, most important setting in parameter and the changes of graph settings and the cross-section of kernel settings.

I investigate isosceles angular which was fill in by coal plastic in different forms vertical and horizontal ways. In another way I take one form in vertical and horizontal ways and change the material.

In result I get the most important parameter's change graphs of asymmetry multilayer constructions, set the cross-section of kernel, it form and changes graphs of area.

In result we see how changed the most important parameters, when the area of material is growing. When we changes the material, but the form is the same, the rigidity is going down in 7-10%, but if we proporcional the price, it goes down in 10 times.

TURINYS

TURINYS.....	4
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
IŠVADOS.....	7
1. DVISLUOKSNIŲ STRYPŲ SKERSPJŪVIO BRANDUOLIO PARAMETRŲ NUSTATYMAS.....	9
1.1 Geometrinio ir standumo centrų skaičiavimas, svarbiausių ašių nustatymas.....	9
1.2 Skerspjūvio branduolio skaičiavimo metodika.....	10
1.3 Standumo B ir D , bei stiprumo σ skaičiavimai.....	11
2. TEMPIAMŲ – GNIUŽDOMŲ DAUGIASLUOKSNIŲ KONSTRUKCIJŲ STANDUMO TYRIMAS IR REZULTATAI.....	12
2.1 Konstrukcijos ir medžiagų parinkimas.....	12
2.2 Lygiašonio kampuočio skerspjūvio branduolio suradimas.....	12
2.3 Daugiasluoksnės konstrukcijos geometrinių (x_c ir y_c) ir standumo (x_e ir y_e) centrų skaičiavimai ir rezultatai.....	15
2.4 Daugiasluoksnės konstrukcijos ašinio (I_{x_e} ir I_{y_e}) ir išcentrinio ($I_{x_{eye}}$) inercijos momento skaičiavimai ir rezultatai.....	17
2.5 Daugiasluoksnės konstrukcijos ašinių ($B; D_x; D_y$) ir išcentrinių (D_{xy}) standumų skaičiavimai ir rezultatai.....	19
2.6 Daugiasluoksnės konstrukcijos svarbiausių ašių posūkio kampo α skaičiavimai ir rezultatai.....	21
3. NECENTRIŠKAI TEMPIAMŲ – GNIUŽDOMŲ STRYPŲ SKERSPJŪVIO BRANDUOLIO PARAMETRŲ TYRIMAS.....	25
3.1 Daugiasluoksnės konstrukcijos skerspjūvio branduolio koordinatinių radimas, bei branduolio pavaizdavimas.....	25
3.2 Daugiasluoksnės konstrukcijos skerspjūvio branduolio ploto (S_{brand}) suradimas.....	29
3.3 Tempiamų – gniuždomų daugiasluoksnės konstrukcijos standumo tyrimo skaičiavimai ir rezultatai, keičiant tamprumo modulį santykį E_1/E_2	31
4. ĮTEMPIMŲ PASISKIRSTYMAS SKERSPJŪVYJE, ESANT NECENTRINIAM TEMPIMUI – GNIUŽDYMUI.....	43
IŠVADOS.....	46
LITERATŪRA.....	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Lentelė 2.1.1 Daugiasluoksnės konstrukcijos antros medžiagos (E_2) matmenys (mm);

Lentelė 2.3.1 Geometrinių ir standumo centrų koordinatės, esant vertikaliam ir horizontaliam;

Lentelė 2.4.1 Ašiniai ir išcentriniai inercijos momentai, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

Lentelė 2.5.1 Ašinės ir išcentrinės standumo reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

Lentelė 2.6.1 Svarbiausių ašių posūkio kampo reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

Lentelė 3.2.1 Skerspjūvio branduolio ploto reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

Lentelė 3.3.1 Standumo centro koordinatės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

Lentelė 3.3.2 Ašinio ir išcentrinio inercijos momento reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

Lentelė 3.3.3 Svarbiausių ašių posūkio kampo reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

Lentelė 3.3.4 Ašinio ir išcentrinio standumo reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

Lentelė 3.3.5 Skerspjūvio branduolio ploto reikšmės, keičiant tamprumo modulio santykį E_1/E_2 ;

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.2.1 pav. Skerspjūvio kontūro liestinės ir skerspjūvio svarbiausių ašių susikirtimo taškų koordinatės ;

2.1.1 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos skerspjūvis;

2.2.1 pav. Lygiašonis kampuočio 100x100x12;

2.2.2 pav. Lygiašonio kampuočio liestinių koordinatės;

2.2.3 pav. Lygiašonio kampuočio skerspjūvio branduolys;

2.3.1 pav. (a ir b) Geometrinių centro x_c , y_c ir standumo centro x_E , y_E ašių padėties priklausomybės nuo konstrukcijos užpildymo kiekio;

2.4.1 pav. (a ir b) Ploto inercijos momentų priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio;

2.5.1 pav. (a ir b) Standumo priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio.

2.6.1 pav. (a ir b) Svarbiausių ašių kampo α priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio.

2.6.2 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos svarbiausios ašys ir jų posūkio kampas α_0 ;

2.6.3 pav. Geometriniai ir standumo centrai, bei svarbiausių ašių posūkio kampai, kai yra nuoseklus užpildymo laipsnis.

3.1.1 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos liestinių koordinatės;

3.1.2 pav. Dvisluoksnės asimetrinės konstrukcijos skerspjūvio branduolys;

3.1.3 pav. Skerspjūvio branduoliai, kai lygiašonio užpildymas yra nuoseklus.

3.2.1. pav.(a ir b) Branduolio skerspjūvio priklausomybė nuo užpildytos medžiagos kiekio.

3.3.1pav. (a ir b) Standumo centro priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio.

3.3.2 pav. (a ir b) Centrinų ašinių ir išcentrinų inercijos momentų priklausomybė nuo tamprumo modulių santykio;

3.3.3 pav. (a ir b) Svarbiausių ašių kampo α priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio;

3.3.3.1 pav. Geometriniai ir standumo centrai, bei svarbiausių ašių posūkio kampai, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

3.3.4 pav. (a ir b) Standumo priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio;

3.3.5 pav.(a ir b) Branduolio skerspjūvio ploto priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio;

3.3.6 pav. Skerspjūvio branduoliai , kai keičiasi tamprumo modulių santykis E_1/E_2 ;

4.1 pav. Necentrinis tempimas – gniuždymas, neutraliosios linijos (NL) radimas;

4.2 pav. Daugiasluoksnės konstrukcijos įtempimų diagrama.

IVADAS

Daugelis konstrukcinių elementų gaminama iš vienos rūšies medžiagos. Tada daugeliu atveju negalime suderinti medžiagos stipruminių savybių su konstrukcijai keliamais masės, kainos ir kitais reikalavimais. Tik skirtingų stipruminių bei tamprumo charakteristikų medžiagos užtikrina optimalių parametų konstrukcinius elementus. Daugiasluoksnės sijos pradėtos plačiai taikyti atsiradus kompozicinėms medžiagoms, kurioms būdingos ryškios anizotropinės savybės.

Gaminant įvairios paskirties gaminius bei konstrukcinius elementus, vis plačiau naudojamos naujausios kompozicinės medžiagos - stiklo, anglies ar boro plastikai, taip pat kitos medžiagos, turinčios ryškių anizotropinių savybių. Derinant kompozicinių medžiagų stiprumą ir standumą tempiant ar lenkiant su šių medžiagų sluoksnių storiais, tankiais ar kaina, galima gauti maksimalaus stiprumo ir standumo bei minimalios masės ar pigiausias daugiasluoksnės konstrukcijas.

Sluoksniuotų konstrukcijų elgsena yra daug sudėtingesnė negu pagamintų iš vientisos medžiagos. Čia reikia vertinti ne tik monosluoksnius, bet ir jų bendrą sąveiką, tame tarpe ir tarpsluoksnį. Dėl atsiradusių didelių įtempimų tarpsluoksniai gali atsisluoksniuoti, medžiaga suirti. Tad visa daugiasluoksnė konstrukcija priklauso ne tik nuo atskirų sluoksnių, bet ir nuo tarpsluoksnio stiprumo ir irimo ypatumų.

Fenomenologiniai stiprumo kriterijai nagrinėja išorinio poveikio ir medžiagos reakcijos funkciją, o irimas traktuojamas kaip vientisos terpės pažeidimas .

Mechaninis stiprumas suprantamas kaip įtempimų deformacijų netiesiškumas, o irimas - ryšio netekimas. Keičiant kompozito matricą ir armuojančius elementus bei jų išsidėstymą galima sukurti naujas efektyvias konstrukcijas .

Nagrinėjama standumo ir stiprumo kitimo dėsningumai trisluoksniuose ir daugiasluoksniuose simetriniuose konstrukciniuose elementuose, t.y. elementuose, kurių geometrinė ašis sutampa su neutraliaja jų ašimi. Pasitaiko ir nesimetrinių daugiasluoksnių konstrukcijų, sudarytų iš dviejų ir daugiau skirtingų fizikinių ir mechaninių savybių medžiagų. Jų skerspjūvio geometrinė ašis nesutampa su konstrukcinio elemento neutralia ašimi.

Tyrimo objektas – dvisluoksnis strypas sudarytas iš kampuočio ir stačiakampio formos užpildo.

Tyrimo tikslas - išnagrinėti kaip kinta tempiamų – gniuždomų dvisluoksnių strypų standumas ir skerspjūvio branduolio parametrai, priklausomai nuo sluoksnio formos ir geometrijos, bei tamprumo modulio santykio.

Tyrimo uždaviniai :

- Įsisavinti skerspjūvio branduolio, daugiasluoksnei konstrukcijai, skaičiavimo

metodiką.

- Nustatyti skerspjūvio branduolio parametrų kitimą.

Teorinė darbo reikšmė. Darbe pateikta metodika leidžia nustatyti svarbiausius asimetrinės daugiasluoksnės konstrukcijos parametrus ir charakteristikas. Jos gali būti panaudotos DKE stiprumo skaičiavimuose .

Praktinė darbo reikšmė. Darbe pateikta daugiasluoksnės konstrukcijos svarbiausių parametrų kitimo kreivės. Atsižvelgus į jas mes galime nuspręsti, kaip kinta konstrukcijos parametrai keičiant jos užpildymo tūrį ir medžiagą.

1. DVISLUOKSNIŲ STRYPŲ SKERSPJŪVIO BRANDUOLIO PARAMETRŲ NUSTATYMAS

1.1 Geometrinio ir standumo centrų skaičiavimas, svarbiausių ašių nustatymas

Statinių momentų lygtis naudojame plokščio pjūvio ploto centro koordinatėms apskaičiuoti:

$$x_c = \frac{S_y}{A}; \quad (1.1.1) \quad \text{ir} \quad y_c = \frac{S_x}{A}. \quad (1.1.2)$$

S_x ; S_y – statiniai momentai;

A – skerspjūvio plotas.

Kai ieškomas sudėtingo pjūvio statinis momentas, pjūvis suskaidomas į kelis nesudėtingus pjūvius, kurių plotai (A_1, A_2, A_3) ir ploto centrų koordinatės (x_1, x_2, x_3 ir y_1, y_2, y_3) yra žinomos.

Apskaičiuojame standumo centro koordinates pagal formules [1]:

$$x_E = \frac{\sum S_{yi} \cdot E_i}{\sum E_i \cdot A_i}; \quad (1.1.3) \quad y_E = \frac{\sum S_{xi} \cdot E_i}{\sum E_i \cdot A_i}; \quad (1.1.4)$$

E_i – tamprumo modulis;

Kai jau turime svarbiausias ašis, reikia surasti svarbiausių ašių posūkio kampą pagal formulę:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2D_{xy}}{D_y - D_x}; \quad (1.1.5)$$

čia :

D_x ir D_y – ašiniai (lenkimo) standumai;

D_{xy} – išcentrinis standumas;

1.2 Skerspjuvio branduolio skaičiavimo metodika

Skerspjuvio branduolys – zona, ypatinga tuo, kad tada, kai jėgų atstojamosios veikimo linija skerspjuvį kerta būtent šioje zonoje, normaliniai įtempimai visame skerspjuvyje būna vienodo ženklo. Branduolio kontūro taškų koordinatės skaičiuojamos pagal tokias formules [3]:

1) vienasluoksnė medžiaga;

$$x_b = -\frac{i_y^2}{a_x}; \quad (1.2.1)$$

$$y_b = -\frac{i_x^2}{a_y}; \quad (1.2.2)$$

$$\text{kur } i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; \quad (1.2.3)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}; \quad (1.2.4)$$

Čia:

a_x, a_y - skerspjuvio kontūro liestinės ir skerspjuvio svarbiausių centrinių ašių susikirtimo taškų koordinatės;

i_x, i_y - inercijos spinduliai;

A – skerspjuvio plotas;

I_x, I_y - inercijos momentai;

2) daugiasluoksnė medžiaga

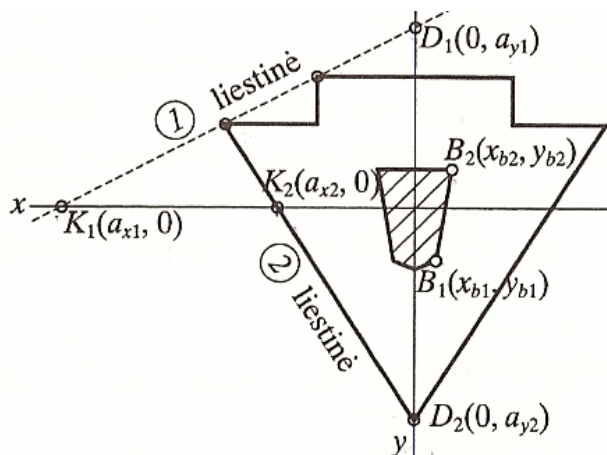
$$x_b = -\frac{D_y}{B \cdot a_x}; \quad (1.2.5)$$

$$y_b = -\frac{D_x}{B \cdot a_y}; \quad (1.2.6)$$

čia:

a_x ir a_y – skerspjuvio kontūro liestinės ir skerspjuvio svarbiausių ašių susikirtimo taškų koordinatės (**1.2.1 pav.**);

B – ašinis standumas;



1.2.1 pav. Skerspjuvio kontūro liestinės ir skerspjuvio svarbiausių ašių susikirtimo taškų koordinatės ;

1.3 Standumo B ir D , bei stiprumo σ skaičiavimai

Ašinio standumo daugiasluoksnei konstrukcijai apskaičiuoti naudojame šias formules [1], [2]:

$$B = \sum E_i \cdot A_i; \quad (1.3.1)$$

čia :

E_i – tamprumo modulis;

A_i – skerspjūvių plotai;

Ašiniai ir išcentriniai lenkimo standumai daugiasluoksnei konstrukcijai apskaičiuojami pagal šias formules:

$$D_x = \sum E_i \cdot I_{x_{ei}}; \quad (1.3.2)$$

$$D_y = \sum E_i \cdot I_{y_{ei}}; \quad (1.3.3)$$

$$D_{xy} = \sum E_i \cdot I_{x_{eyei}}; \quad (1.3.4)$$

čia :

$I_{x_{ei}}, I_{y_{ei}}, I_{x_{eyei}}$ – ašiniai ir išcentriniai inercijos momentai;

Norint rasti necentrinio tempimo – gniuždymo normaliniai įtempimus, pirmiausia yra surandamos neutralios linijos koordinatės iš lygtčių:

$$y_n = -\frac{D_x}{B \cdot y_F}; \quad (1.3.5) \quad x_n = -\frac{D_y}{B \cdot x_F}; \quad (1.3.6)$$

čia:

x_F ir y_F – veikiamos jėgos atstumas iki svarbiausių ašių;

tada skaičiuojame normalinius įtempimus pagal formulę:

$$\sigma_A = \sigma_N + \sigma_{M(x)} + \sigma_{M(y)}; \quad (1.3.7)$$

kur

$$\sigma_{Ni} = \frac{N}{B} \cdot E_i; \quad (1.3.8)$$

$$\sigma_{M(x)} = \frac{M_x}{D_x} \cdot y \cdot E_i; \quad (1.3.9) \quad \sigma_{M(y)} = \frac{M_y}{D_y} \cdot x \cdot E_i; \quad (1.3.10)$$

čia :

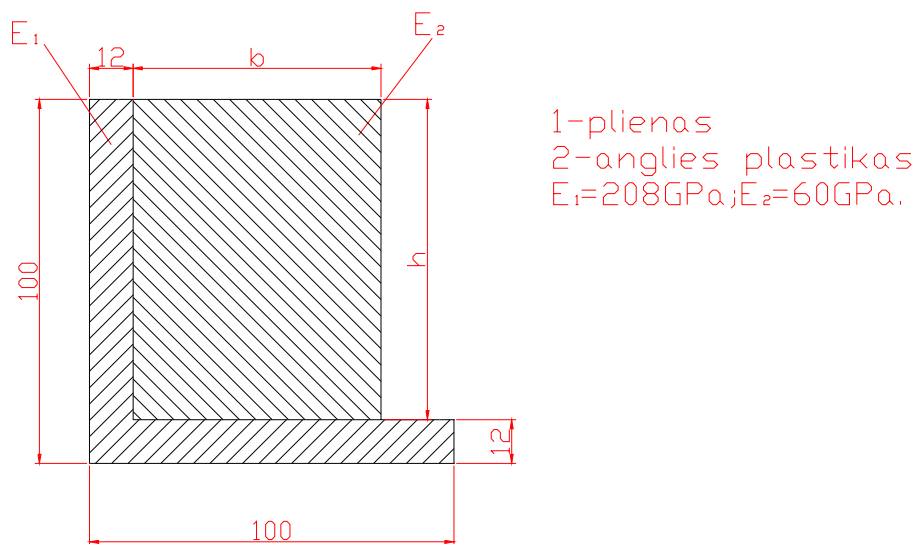
M_x ir M_y – momentai apie x ir y ašis;

x ir y – atstumai iki svarbiausių pasuktų ašių;

2. TEMPIAMŲ – GNIUŽDOMŲ DAUGIASLUOKSNIŲ KONSTRUKCIJŲ STANDUMO TYRIMAS IR REZULTATAI

2.1 Konstruktijos ir medžiagų parinkimas

Pasirenkame lygiašonį kampuotį ir jį užpildome anglies plastiku. Lygiašonis kampuotis visuose tyrimo skaičiavimuose išliks tas pats, keisime tik anglies plastiko užpildymo laipsnį.



2.1.1 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos skerspjūvis;

Mano pasirinkto daugiasluoksnio konstrukcinio elemento duomenys yra tokie:

- Lygiašonis kampuotis 100x100x12, kurio $E = 208\text{GPa}$.
- Anglies plastiko sija $b \times h$, kurios $E = 60\text{GPa}$ matmenys yra lygūs: **(žiūrėti lentelę 2.1.1)**;

Lentelė 2.1.1

Daugiasluoksnės konstrukcijos antros medžiagos (E_2) matmenys(mm);

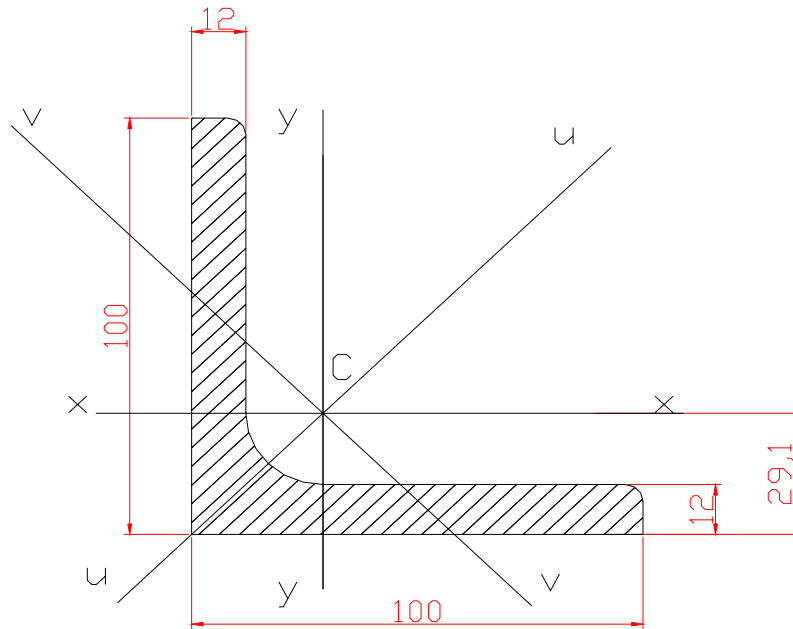
1	2	3	4	5	6	7	8	9
17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4

2.2 Lygiašonio kampuočio skerspjūvio branduolio suradimas

Apskaičiuojame ir nubraižome lygiašonio kampuočio žr. **(2.2.1 pav.)** skerspjūvio branduolį.

Lygiašonį kampuotį parenkame iš standartų lentelės, kurio profilio numeris yra 100x100x12. Skerspjūvio centro C padėtis žinoma. Be to, x ašis yra simetrijos ašis, todėl pastaroji ir

jai statmena y ašis yra svarbiausios ašys. Šių ašių atžvilgiu apskaičiuojamos branduolio kontūro taškų koordinatės (x_b ir y_b).



2.2.1 pav. Lygiašonis kampuočio 100x100x12

E – tamprumo modulis

I – inercijos momentas

A – plotas

Mano pasirinkto daugiasluoksnio konstrukcinio elemento duomenys yra tokie:

- Lygiašonis kampuočio 100x100x12, kurio $E = 208\text{GPa}$.

Kadangi mano pasirinktas kampuočio yra iš standartų lentelės, tai man nereikia skaičiuoti skerspjūvio inercijos momentų I_u ir I_v , bei skerspjūvio inercijos spindulių i_u ir i_v .

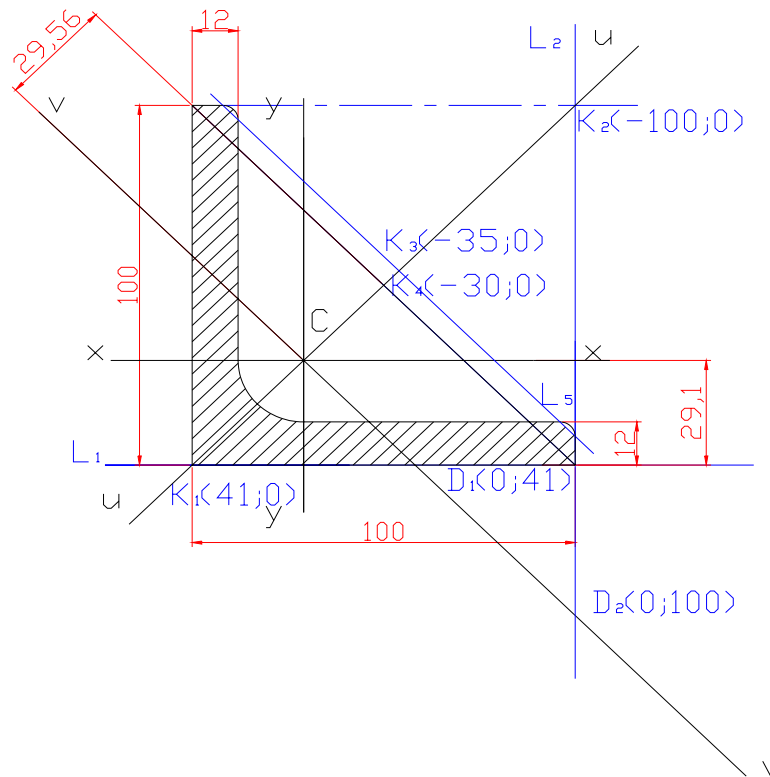
$$I_u = I_{\max} = 328\text{cm}^4;$$

$$i_u = i_{\max} = 3.80\text{cm};$$

$$I_v = I_{\min} = 86.2\text{cm}^4;$$

$$i_v = i_{\min} = 1.95\text{cm}.$$

Kiekviena skerspjūvio liestinė nagrinėjama kaip ekstremali neutraliosios linijos padėtis. Liestinių ir skerspjūvio svarbiausių centrinių ašių susikirtimo taškų K ir D koordinatėms reikia skaičiuojant branduolio kontūro taškų b koordinatės. K ir D taškų koordinatės yra pateiktos **2.2.2 pav.**, kurios buvo surastos AUTOCAD programa.



2.2.2 pav.lygiašonio kampuočio liestinių koordinatės;

Atliekame branduolio taškų x_b ir y_b koordinatčių skaičiavimus pagal formules (1.2.1) ir (1.2.2):

$$i_u = 3.8cm;$$

$$i_v = 1.95cm.$$

$$a_{u1} = 4.1cm;$$

$$a_{v1} = 4.1cm;$$

$$x_{b1} = \frac{-(1.95)^2}{4.1} = -0.92cm = -9.2mm;$$

$$y_{b1} = \frac{-(3.8)^2}{4.1} = -3.52cm = -35.2mm;$$

$$a_{u2} = -10cm;$$

$$a_{v2} = 10cm;$$

$$x_{b2} = \frac{-(1.95)^2}{-10} = 0.38cm = 3.8mm;$$

$$y_{b2} = \frac{-(3.8)^2}{10} = -1.44cm = -14.4mm;$$

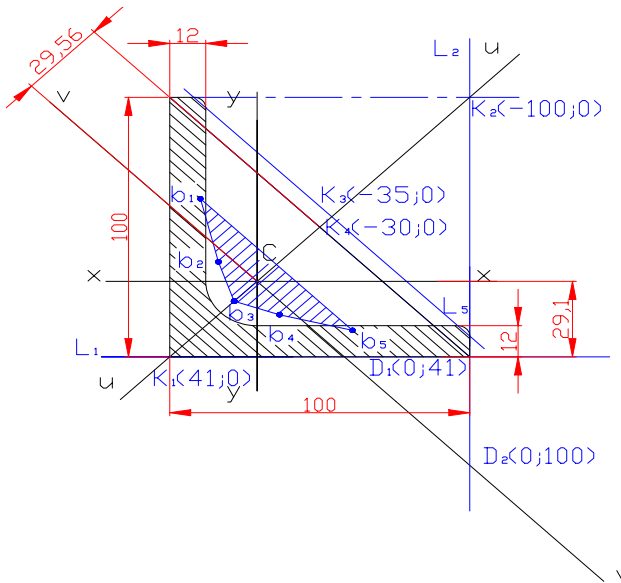
$$a_{u3} = -3.5\text{cm};$$

$$a_{v3} = \infty$$

$$x_{b3} = \frac{-(1.95)^2}{-3.5} = 1.08\text{cm} = 10.8\text{mm};$$

$$y_{b3} = \frac{-(3.8)^2}{\infty} = 0\text{cm} = 0\text{mm}.$$

Branduolio kontūro taškai b_4 ir b_5 yra simetriški rastiems taškams b_2 ir b_1 . Rastuosius taškus nuosekliai sujungiame tiesėmis ir gauname branduolio kontūrus **1.2.3 pav.**



2.2.3 pav. Lygiašonio kampuočio skerspjūvio branduolys;

2.3 Daugiasluoksnės konstrukcijos geometrinių (x_c ir y_c) ir standumo (x_e ir y_e) centrų skaičiavimai ir rezultatai

Apskaičiuojame ir nubraižome skerspjūvio branduolį dvisluoksnės konstrukcijos, kurios 1-oji medžiaga yra plienas ($E=2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$), o 2-osios – anglies plastikas ($E = 6 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$).

$$A_1 = 88 \cdot 12 = 1056\text{mm}^2;$$

$$A_2 = 68 \cdot 88 = 5984\text{mm}^2;$$

$$A_3 = 100 \cdot 12 = 1200\text{mm}^2.$$

Surandomos atskirų plotų centro koordinatės:

$$A_1 - (6;56);$$

$$A_2 - (46;56);$$

$$A_3 - (50;6);$$

sudėtingo pjūvio statiniai momentai yra lygūs:

$$S_x = A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3 = 1056 \cdot 56 + 5984 \cdot 56 + 1200 \cdot 6 = 401440 \text{ mm}^3;$$

$$S_y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 = 1056 \cdot 6 + 5984 \cdot 46 + 1200 \cdot 50 = 341600 \text{ mm}^3.$$

Iš čia sudėtingo pjūvio ploto ir standumo centro koordinatės pagal formules (1.1.1), (1.1.2) ir (1.1.3), (1.1.4):

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 1056 + 5984 + 1200 = 8240 \text{ mm}^2;$$

$$x_c = \frac{341600}{8240} = 41.5 \text{ mm};$$

$$y_c = \frac{401440}{8240} = 48.7 \text{ mm}.$$

$$x_E = \frac{6 \cdot 1056 \cdot 208 \cdot 10^9 + 46 \cdot 5984 \cdot 60 \cdot 10^9 + 50 \cdot 1200 \cdot 208 \cdot 10^9}{208 \cdot 10^9 \cdot 2256 + 60 \cdot 10^9 \cdot 5984} = 36.6 \text{ mm};$$

$$y_E = \frac{56 \cdot 1056 \cdot 208 \cdot 10^9 + 56 \cdot 5984 \cdot 60 \cdot 10^9 + 6 \cdot 1200 \cdot 208 \cdot 10^9}{208 \cdot 10^9 \cdot 2256 + 60 \cdot 10^9 \cdot 5984} = 40.9 \text{ mm};$$

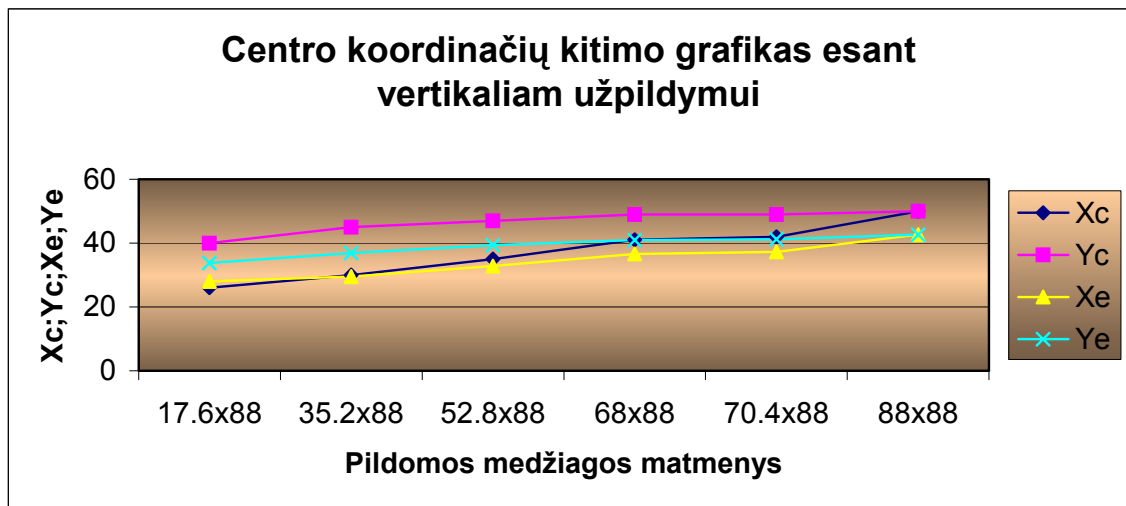
Konstrukcijos pjūvio geometrinio ir standumo centrų skaičiavimo rezultatai pateikti **lentelėje 2.3.1**;

lentelė 2.3.1

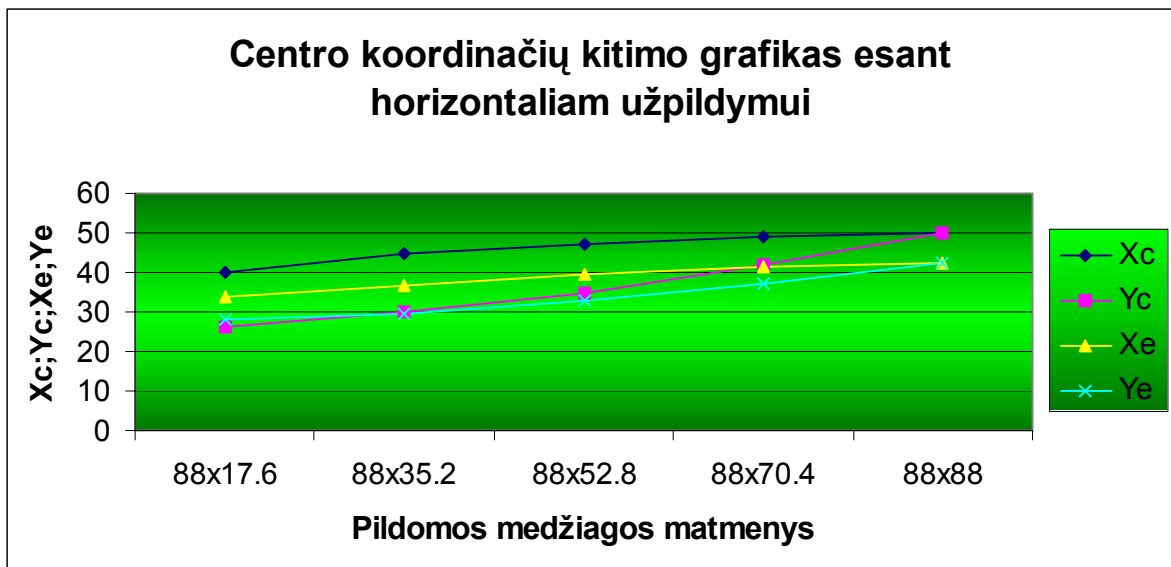
geometrinių ir standumo centrų koordinatės, esant vertikaliam ir horizontaliam;

bxh/c.k.	17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4
X _c (mm)	26	30	35	42	50	40	45	47	49
Y _c (mm)	40	45	47	49	50	26	30	35	42
X _e (mm)	28	29.5	32.8	37.3	42.6	33.8	36.9	39.3	41.2
Y _e (mm)	33.8	36.9	39.3	41.2	42.6	28	29.5	32.8	37.3

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **2.3.1 pav.a ir b**;



a



b

2.3.1 pav.(a ir b) Geometrinių centro x_c , y_c ir standumo centro x_e , y_e ašių padėties priklausomybės nuo konstrukcijos užpildymo kiekio;

Kaip matome iš grafiko standumo koordinatės didėja lygiagrečiai geometrinėms koordinatėms, didėjant užpildymo laipsniui. Esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui grafikai yra praktiškai vienodi, tik x ir y koordinatės pasikeičia vietomis.

2.4 Daugiasluoksnės konstrukcijos ašinio (I_{xe} ir I_{ye}) ir išcentrinio (I_{xeye}) inercijos momento skaičiavimai ir rezultatai

Apskaičiuojame centrinius ašinius ir išcentrinį inercijos momentus ašių x_c ir y_c atžvilgiu:

$$I_{ye} = I_{1ye} + I_{2ye} + I_{3ye};$$

$$I_{1ye} = \frac{0.088 \cdot 0.012^3}{12} + (0.012 \cdot 0.088) \cdot (-0.0306)^2 = 100 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{2ye} = \frac{0.088 \cdot 0.068^3}{12} + (0.088 \cdot 0.068) \cdot (0.0094)^2 = 283 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{3ye} = \frac{0.012 \cdot 0.1^3}{12} + (0.012 \cdot 0.1) \cdot (0.0134)^2 = 122 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{ye} = 100 \cdot 10^{-8} + 283 \cdot 10^{-8} + 122 \cdot 10^{-8} = 505 \cdot 10^{-8} m^4.$$

$$I_{xe} = I_{1xe} + I_{2xe} + I_{3xe};$$

$$I_{1xe} = \frac{0.012 \cdot 0.088^3}{12} + (0.012 \cdot 0.088) \cdot (0.0151)^2 = 92 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{2xe} = \frac{0.068 \cdot 0.088^3}{12} + (0.088 \cdot 0.068) \cdot (0.0151)^2 = 523 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{3xe} = \frac{0.1 \cdot 0.012^3}{12} + (0.012 \cdot 0.1) \cdot (-0.0349)^2 = 148 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{xe} = 92 \cdot 10^{-8} + 523 \cdot 10^{-8} + 148 \cdot 10^{-8} = 763 \cdot 10^{-8} m^4.$$

$$I_{xeye} = I_{1xeye} + I_{2xeye} + I_{3xeye};$$

$$I_{1xeye} = 0.012 \cdot 0.088 \cdot (-0.0306) \cdot 0.0151 = -49 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{2xeye} = 0.088 \cdot 0.068 \cdot 0.0094 \cdot 0.0151 = 85 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{3xeye} = 0.1 \cdot 0.012 \cdot 0.0134 \cdot (-0.0349) = -56 \cdot 10^{-8} m^4;$$

$$I_{xeye} = -49 \cdot 10^{-8} + 85 \cdot 10^{-8} - 56 \cdot 10^{-8} = -20 \cdot 10^{-8} m^4.$$

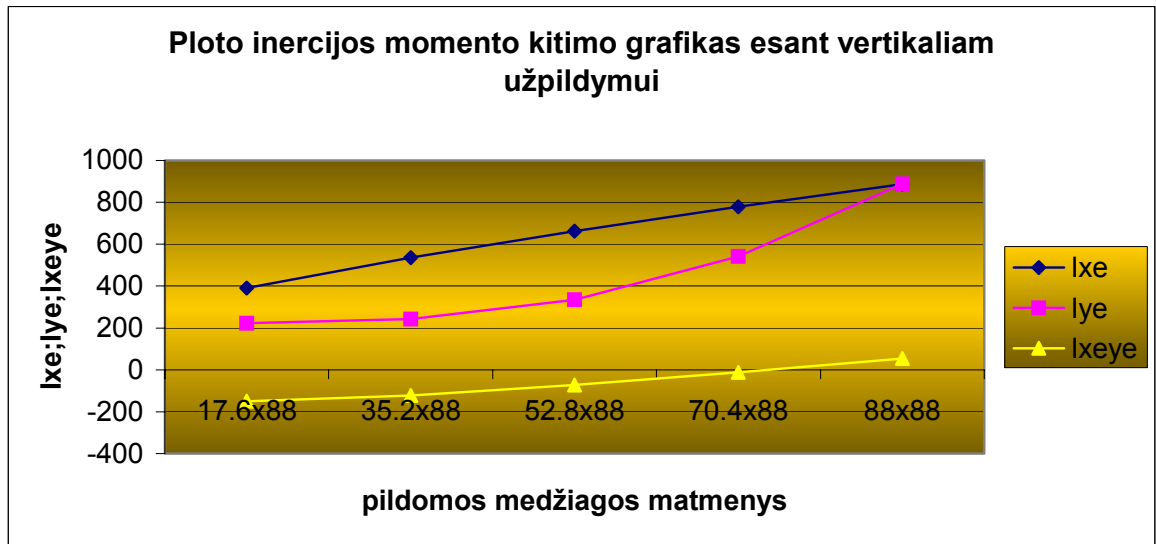
Centrinių ašinių ir išcentrinių inercijos momentų skaičiavimų rezultatus ašių x_E ir y_E atžvilgiu pateikiu lentelėje 2.4.1.

Lentelė 2.4.1

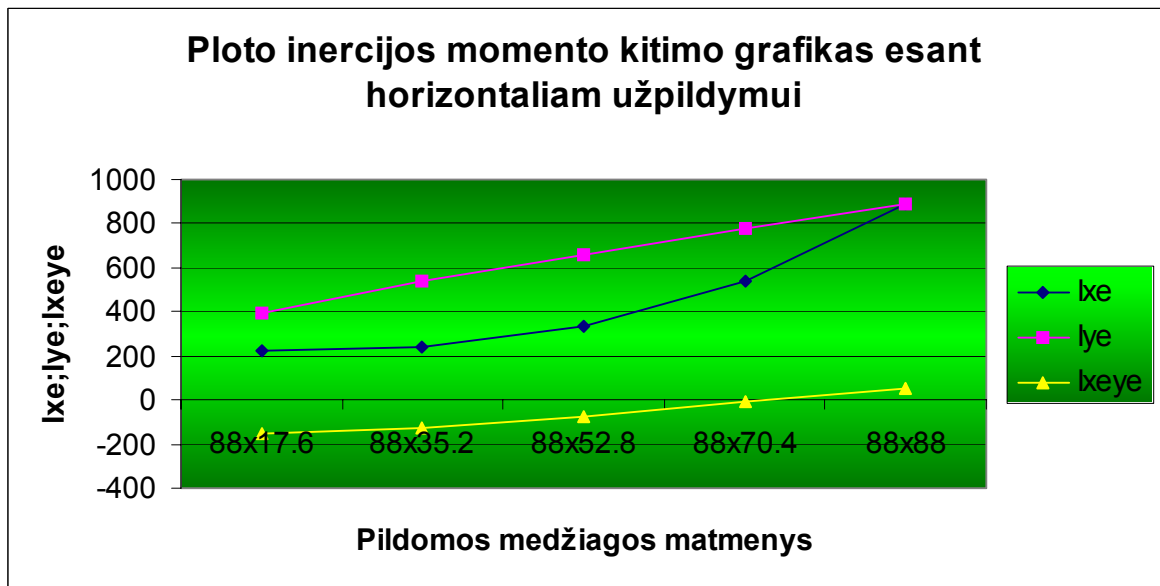
Ašiniai ir išcentriniai inercijos momentai, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

l.m./bxh	17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4
I_{xe} (m^4)	391×10^{-8}	536×10^{-8}	662×10^{-8}	779×10^{-8}	887×10^{-8}	222×10^{-8}	242×10^{-8}	335×10^{-8}	541×10^{-8}
I_{ye} (m^4)	222×10^{-8}	242×10^{-8}	335×10^{-8}	541×10^{-8}	888×10^{-8}	391×10^{-8}	535×10^{-8}	661×10^{-8}	777×10^{-8}
I_{xeye} (m^4)	-150×10^{-8}	-123×10^{-8}	-72.3×10^{-8}	-11.4×10^{-8}	54×10^{-8}	-150×10^{-8}	-123×10^{-8}	-72.3×10^{-8}	-11.4×10^{-8}

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai 2.4.1 pav.a ir b;



a



b

2.4.1 pav.(a ir b) Ploto inercijos momentų priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio.

Inercijos momentas taip pat didėja didėjant užpildymo kiekiui. Kaip matome iš grafiko konstrukcijai artėjant prie pilno užpildymo ašiniai inercijos momentai tampa vienodi. Esant vertikaliaam ir horizontaliam užpildymui ašiniai momentai susikeičia vietomis, tačiau išlaiko tas pačias reikšmes

2.5 Daugiasluoksnės konstrukcijos ašinių ($B; D_x; D_y$) ir išcentrinių (D_{xy}) standumų skaičiavimai ir rezultatai

Apskaičiuojame sijų standumus D_x, D_y, D_x ; pagal formules (1.3.2), (1.3.3) ir (1.3.4):

$$D_x = 208 \cdot 10^9 \cdot 92 \cdot 10^{-8} + 60 \cdot 10^9 \cdot 523 \cdot 10^{-8} + 208 \cdot 10^9 \cdot 148 \cdot 10^{-8} = 812000 N \cdot m^2;$$

$$D_y = 208 \cdot 10^9 \cdot 100 \cdot 10^{-8} + 60 \cdot 10^9 \cdot 283 \cdot 10^{-8} + 208 \cdot 10^9 \cdot 122 \cdot 10^{-8} = 631560 N \cdot m^2;$$

$$D_{xy} = 208 \cdot 10^9 \cdot (-49) \cdot 10^{-8} + 60 \cdot 10^9 \cdot 85 \cdot 10^{-8} + 208 \cdot 10^9 \cdot (-56) \cdot 10^{-8} = -167400 N \cdot m^2.$$

Skaičiuojame ašinį standumą pagal formulę (1.3.5):

$$B = 208 \cdot 10^9 \cdot 0.002256 + 60 \cdot 10^9 \cdot 0.005984 = 8.28 \cdot 10^8 N;$$

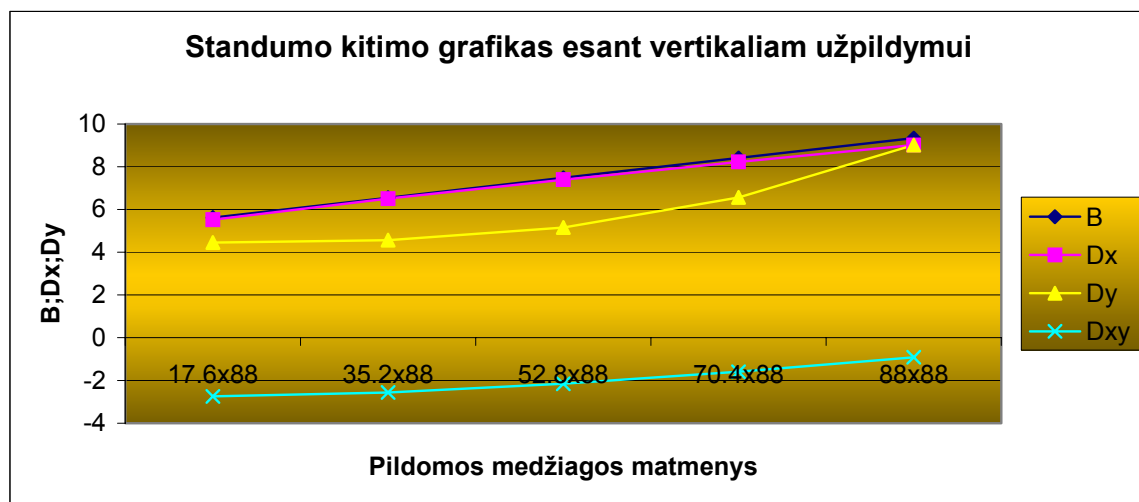
Apskaičiuotus standumus pateikiame **lentelėje 2.5.1**;

Lentelė 2.5.1

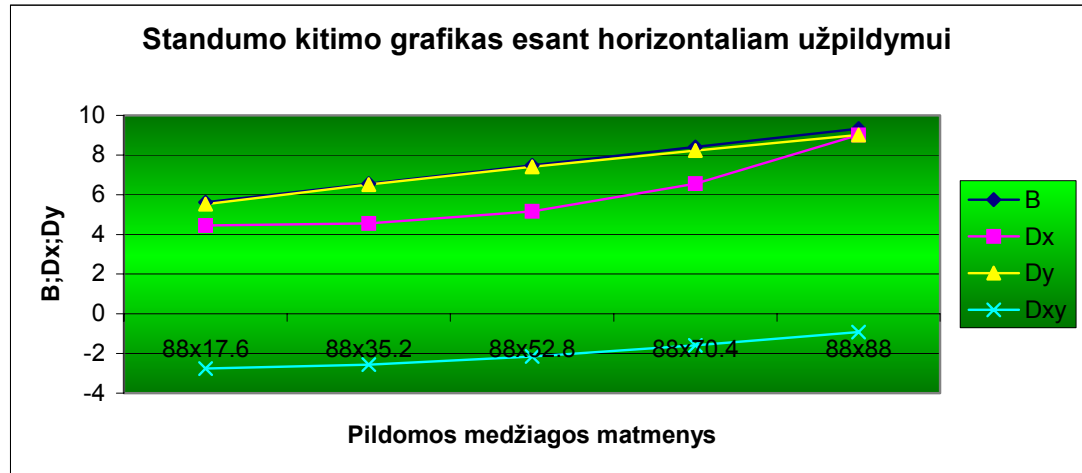
Ašinės ir išcentrinės standumo reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

	17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4
B(N)	5.62×10^8	6.55×10^8	7.48×10^8	8.41×10^8	9.34×10^8	5.62×10^8	6.55×10^8	7.48×10^8	8.41×10^8
$D_x(N \cdot m^2)$	5.52×10^5	6.51×10^5	7.4×10^5	8.23×10^5	9.02×10^5	4.45×10^5	4.56×10^5	5.16×10^5	6.56×10^5
$D_y(N \cdot m^2)$	4.45×10^5	4.56×10^5	5.16×10^5	6.56×10^5	9.02×10^5	5.52×10^5	6.51×10^5	7.4×10^5	8.23×10^5
$D_{xy}(N \cdot m^2)$	-2.75×10^5	-2.56×10^5	-2.15×10^5	-1.59×10^5	-0.919×10^5	-2.75×10^5	-2.56×10^5	-2.15×10^5	-1.59×10^5

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **2.5.1 pav.(a ir b)**;



a



b

2.5.1 pav. (a ir b) Standumo priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio.

Standumas, didėjant pildomos medžiagos kiekiui, didėja. Didžiausias standumas yra, kai kampuotis užpildomas yra pilnai.

2.6 Daugiasluoksnės konstrukcijos svarbiausių ašių posūkio kampo α skaičiavimai ir rezultatai

Apskaičiuojame svarbiausių ašių kryptis pagal formulę (1.1.5) :

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2 \cdot (-167400)}{631560 - 812000} = 1.855;$$

$$2\alpha_0 = 61.6^\circ; \alpha_0 = 30.8^\circ.$$

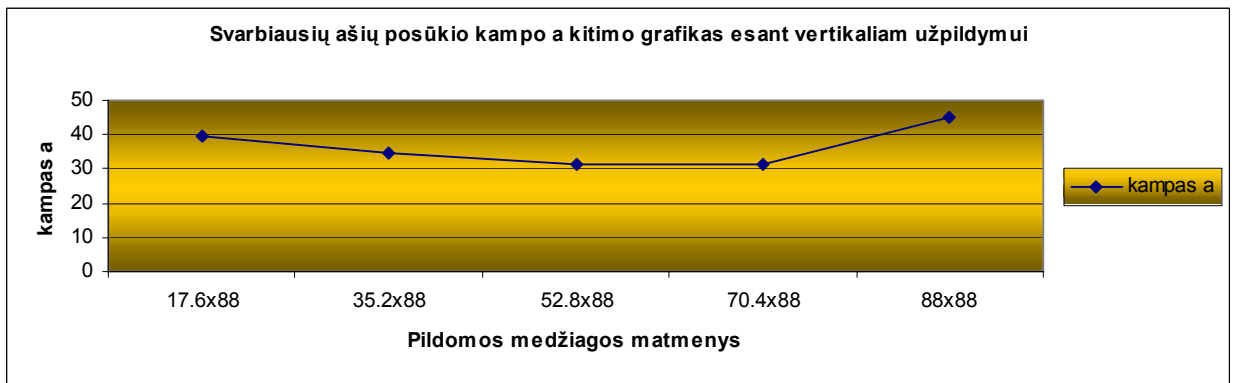
Apskaičiuotus svarbiausių ašių kampus α pateikiame **lentelėje 2.6.1**;

Lentelė 2.6.1

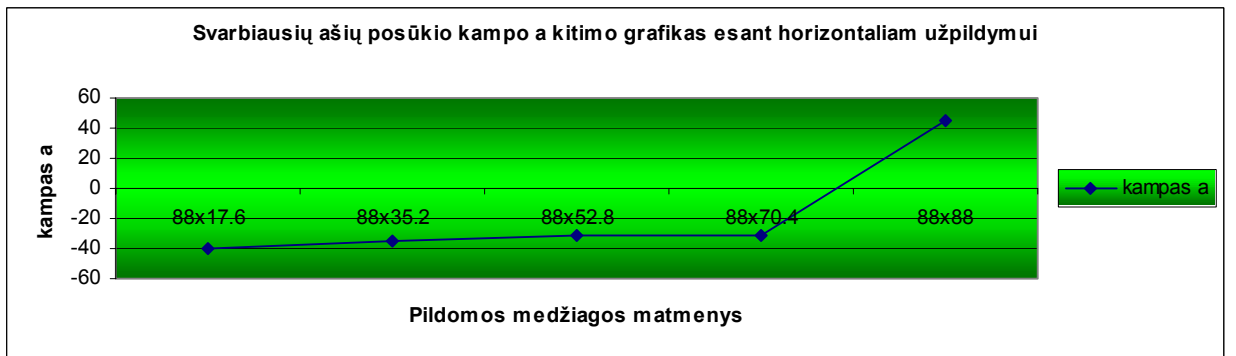
Svarbiausių ašių posūkio kampo reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

	17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4
$\angle \alpha (^\circ)$	39.5	34.6	31.2	31.11	45	-39.5	-34.6	-31.2	-31.11

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **2.6.1 pav.a ir b**;



a

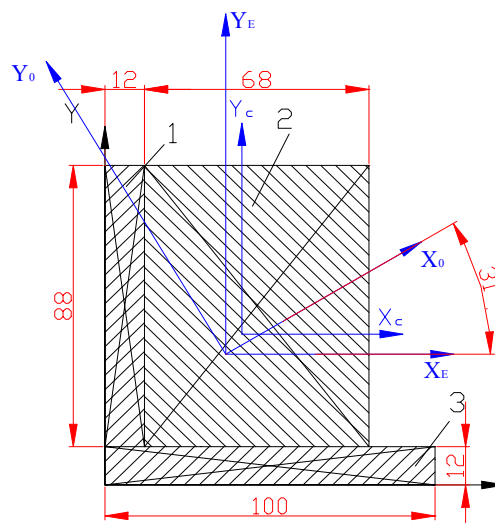


b

2.6.1 pav.(a ir b) Svarbiausių ašių kampo α priklausomybė nuo konstrukcijos užpildymo kiekio.

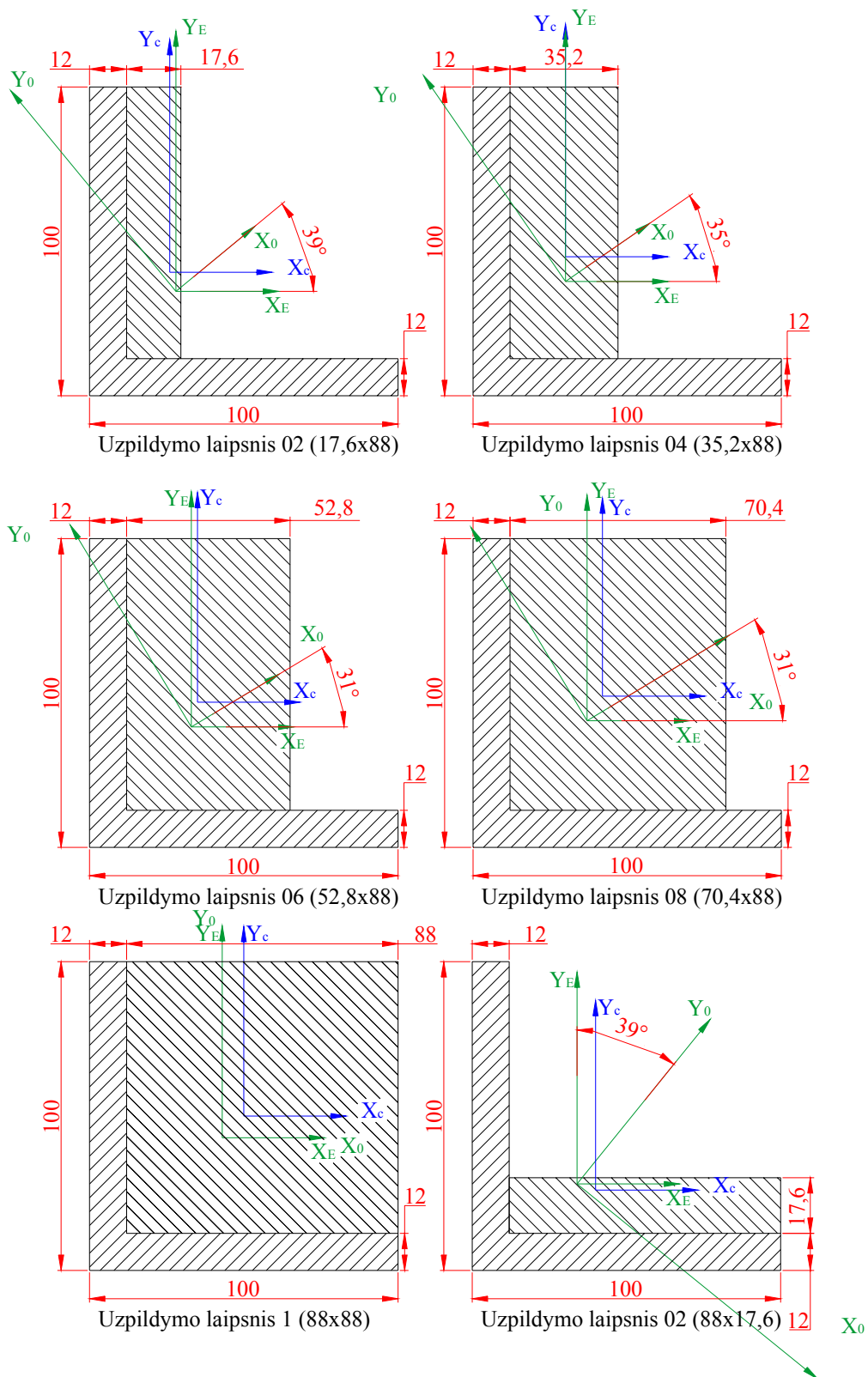
Svarbiausių ašių posūčio kampas, didėjant užpildui, mažėja abiem atvejais, tik kai konstrukcija užpildoma pilnai, kampas yra lygus 45 laipsniams. Esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui kampų dydis išlieka toks pat, tik su priešingu ženklu.

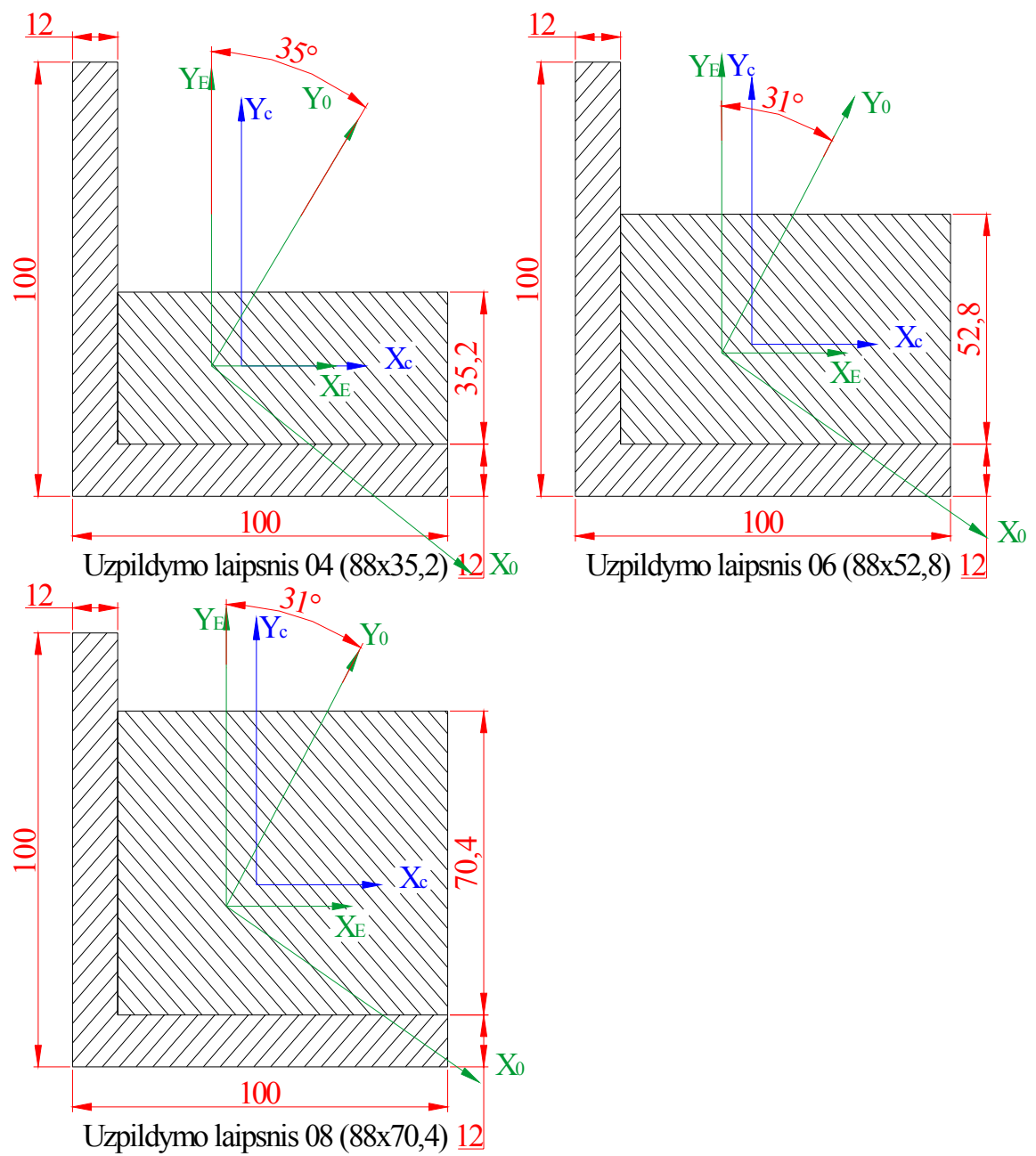
Rastus skerspjūvio geometrinio ir standumo centrų padėtis pavaizduojame **pav. 2.6.2;**



2.6 2 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos svarbiausios ašys ir jų posūkių kampas α_0

Visų kitų užpildymo formų geometriniai ir standumo centrai, bei svarbiausių ašių posūkių kampai pavaizduoti **pav. 2.6.3**;



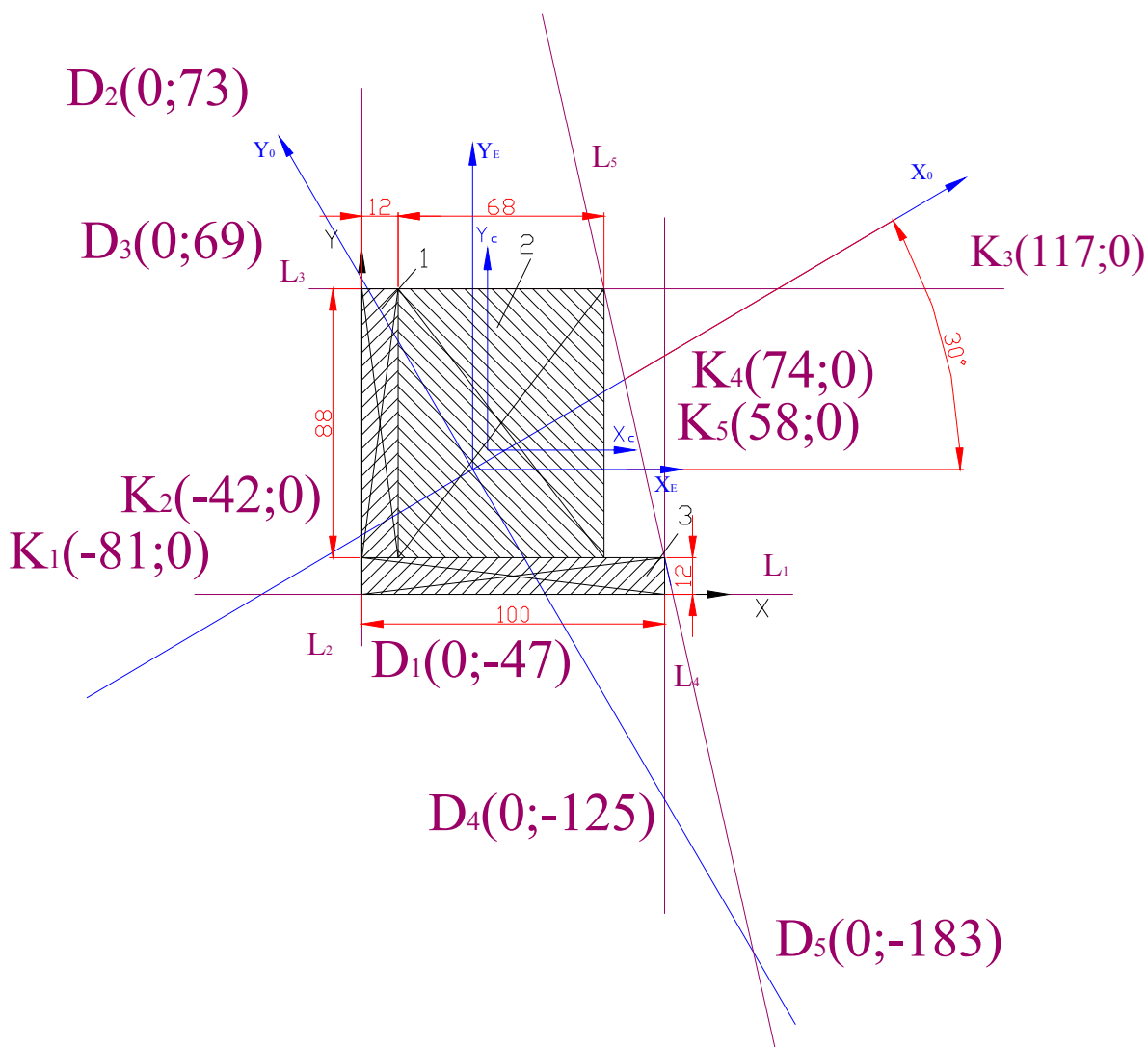


2.6.3 pav. Geometriniai ir standumo centrai, bei svarbiausių ašių posūkio kampai, kai yra nuoseklus užpildymo laipsnis.

3. NECENTRIŠKAI TEMPIAMŲ – GNIUŽDOMŲ STRYPŲ SKERSPJŪVIO BRANDUOLIO PARAMETRŲ TYRIMAS

3.1 Daugiasluoksnės konstrukcijos skerspjūvio branduolio koordinatinių radimas, bei branduolio pavaizdavimas

Norint surasti branduolio koordinates visų pirma reikia rasti liestinių koordinates, taip kaip yra pavaizduota **3.1.1 pav.**

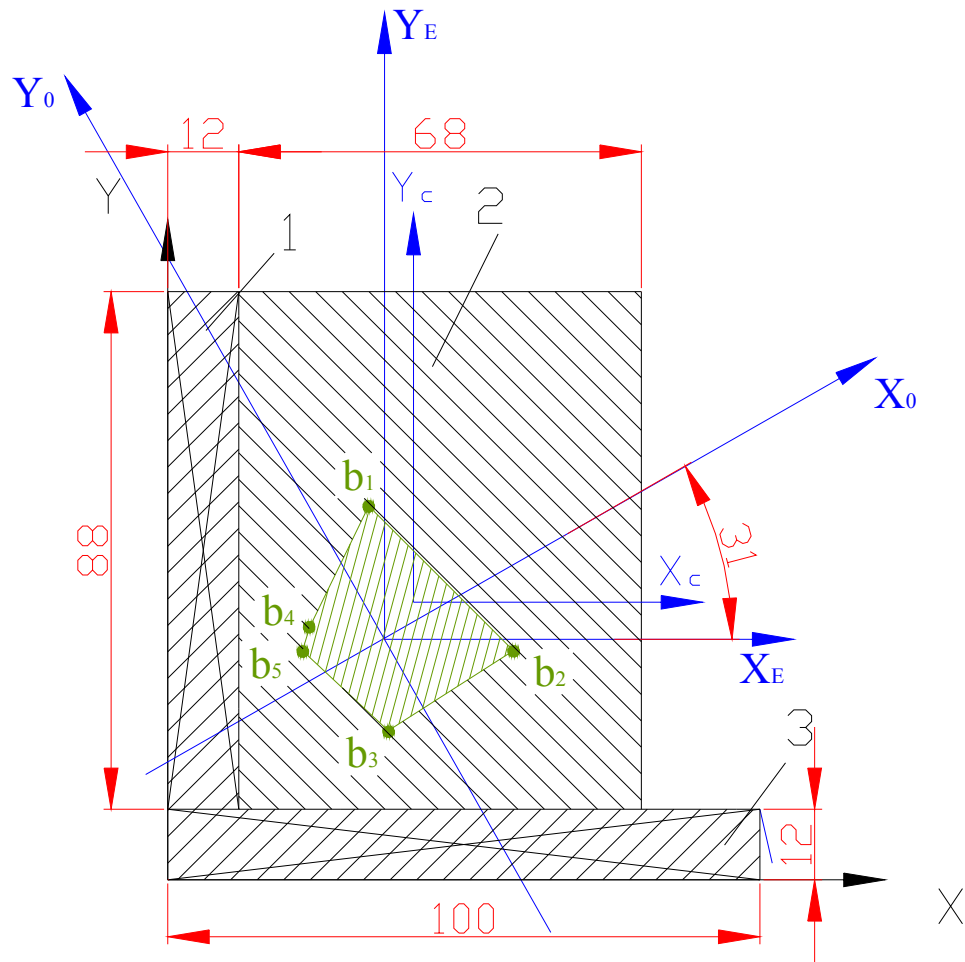


3.1.1 pav. Dvisluoksnės konstrukcijos liestinių koordinates

Skaičiuojame branduolio koordinates x_b ir y_b pagal formules (1.2.5) ir (1.2.6):

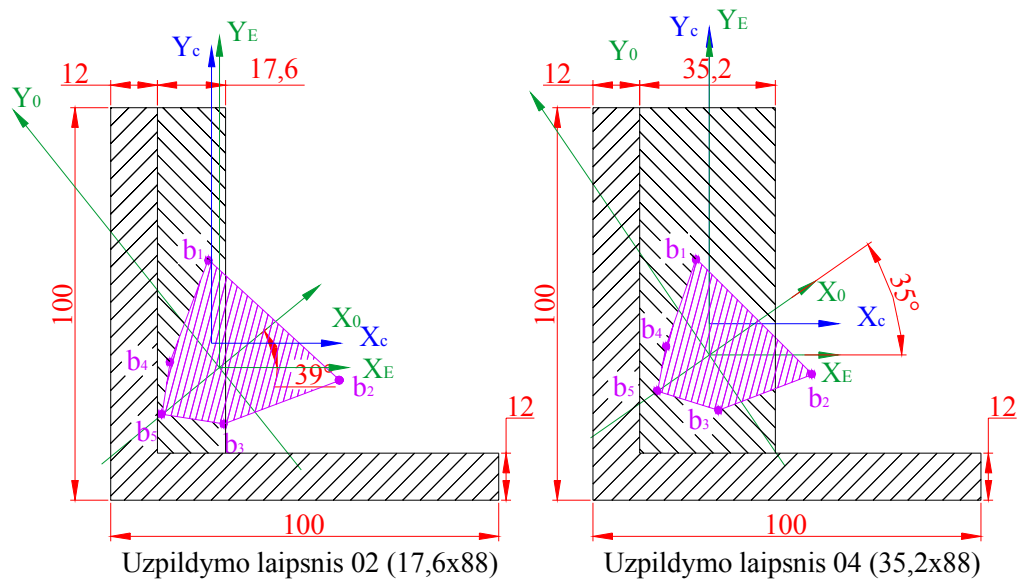
$$\begin{aligned}x_{b1} &= -\frac{631560}{8.28 \cdot 10^8 \cdot (-0.081)} = -0.0094m = 9mm; \\y_{b1} &= -\frac{812000}{8.28 \cdot 10^8 \cdot (-0.047)} = 0.021m = 21mm; \\x_{b2} &= -\frac{631560}{8.28 \cdot 10^8 \cdot (-0.042)} = 0.018m = 18mm; \\y_{b2} &= -\frac{812000}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.073} = -0.013m = -13mm; \\x_{b3} &= -\frac{631560}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.117} = -0.007m = -7mm; \\y_{b3} &= -\frac{812000}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.069} = -0.014m = -14mm; \\x_{b4} &= -\frac{631560}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.074} = -0.01m = -10mm; \\y_{b4} &= -\frac{812000}{8.28 \cdot 10^8 \cdot (-0.125)} = 0.008m = 8mm; \\x_{b5} &= -\frac{631560}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.058} = -0.013m = -13mm; \\y_{b5} &= -\frac{812000}{8.28 \cdot 10^8 \cdot (-0.183)} = 0.005m = 5mm;\end{aligned}$$

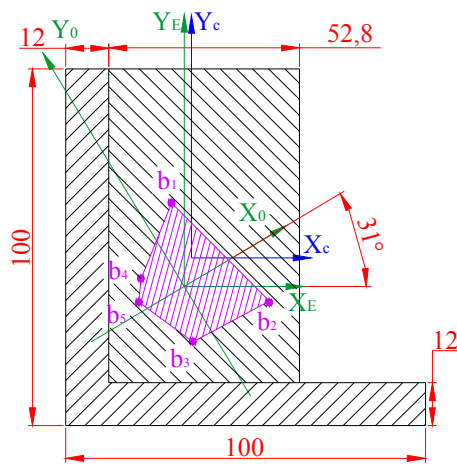
Apskaičiavę branduolio koordinates, nubraižome dvisluksnės asimetrinės konstrukcijos branduolį **pav. 3.1.2**



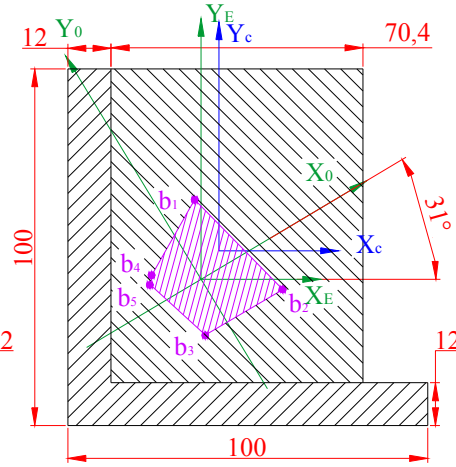
3.1.2 pav. Dvisluoksnės asimetrinės konstrukcijos skerspjūvio branduolys

Taip pat surandame ir kitų figūrų skerspjūvių branduolius. Juos pavaizduojame pav. 3.1.3;

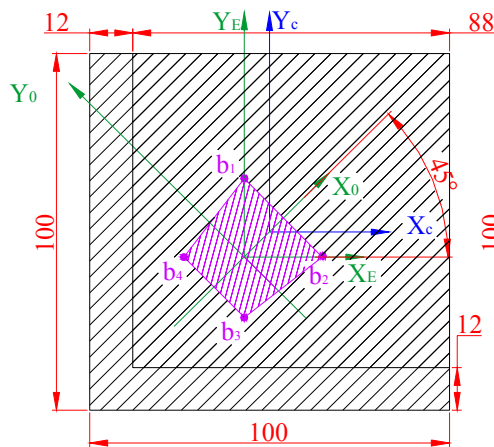




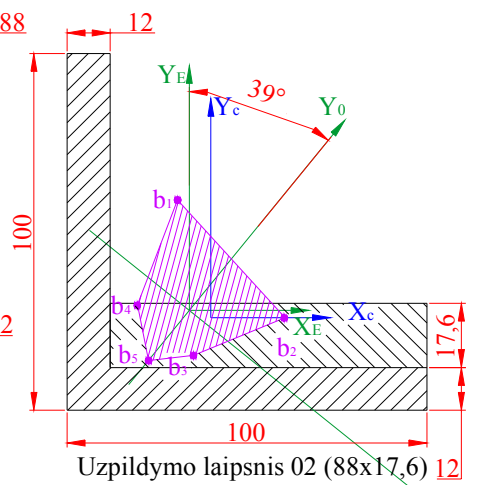
Uzpildymo laipsnis 06 (52,8x88)



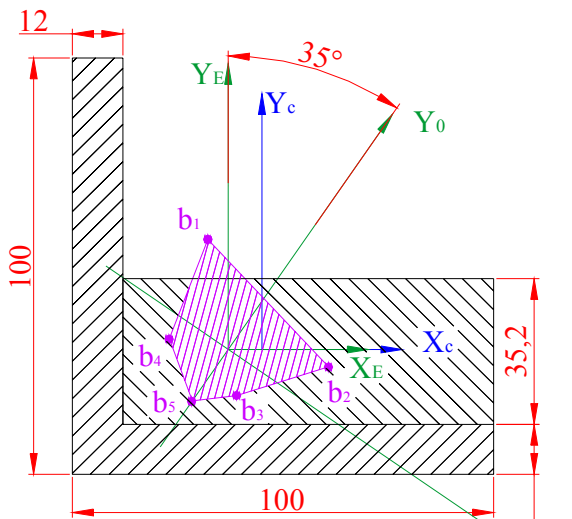
Uzpildymo laipsnis 08 (70,4x88)



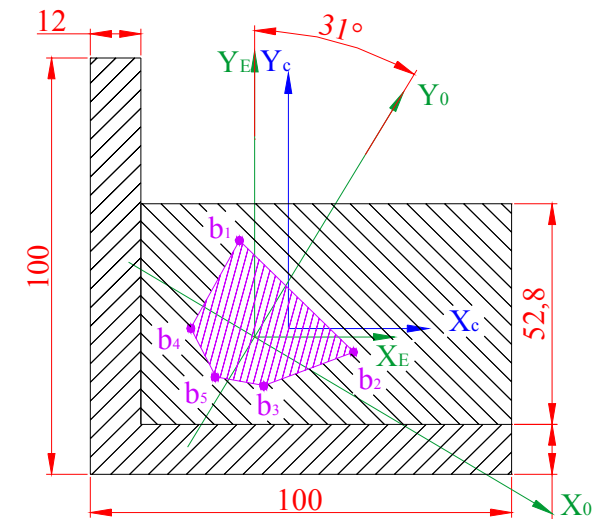
Uzpildymo laipsnis 1 (88x88)



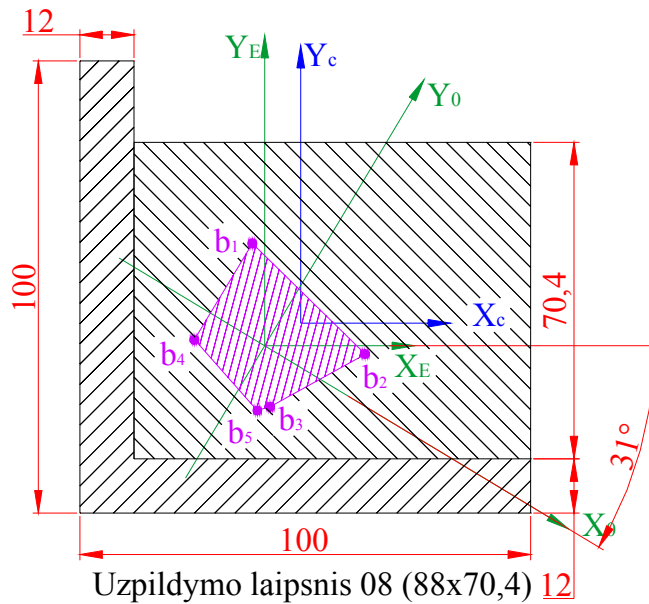
Uzpildymo laipsnis 02 (88x17,6)



Uzpildymo laipsnis 04 (88x35,2)



Uzpildymo laipsnis 06 (88x52,8)



3.1.3 pav. Skerspjūvio branduoliai, kai lygiašonio užpildymas yra nuoseklus

3.2 Daugiasluoksnės konstrukcijos skerspjūvio branduolio plotas (S_{brand}) suradimas

Apskaičiuojame branduolio skerspjūvio plotą.

Branduolį suskirstome į du trikampius; trikampių plotų suma duoda branduolio skerspjūvio plotą:

$$S_{\Delta} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; \text{ - trikampio ploto formulė.}$$

$$S_1 = \sqrt{48.5 \cdot (48.5 - 38) \cdot (48.5 - 34) \cdot (48.5 - 25)} = 416.6 \text{ mm}^2;$$

$$S_2 = \sqrt{42.5 \cdot (42.5 - 38) \cdot (42.5 - 20) \cdot (42.5 - 27)} = 258.3 \text{ mm}^2;$$

$$S_{brand.} = S_1 + S_2 = 416.6 + 258.3 = 674.9 \text{ mm}^2.$$

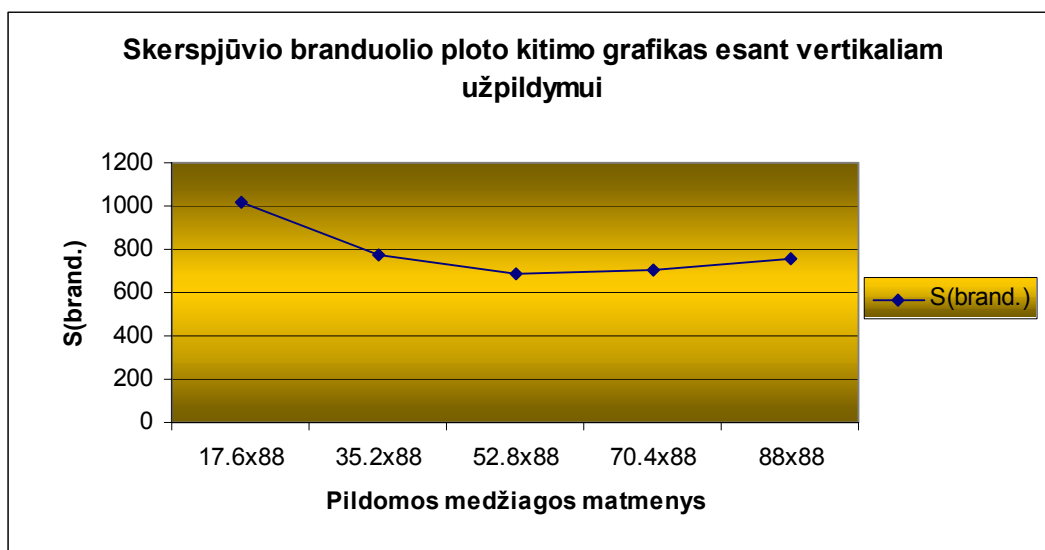
Branduolio ploto skaičiavimų rezultatus pateikiame **lentelėje 3.2.1**;

lentelė 3.2.1

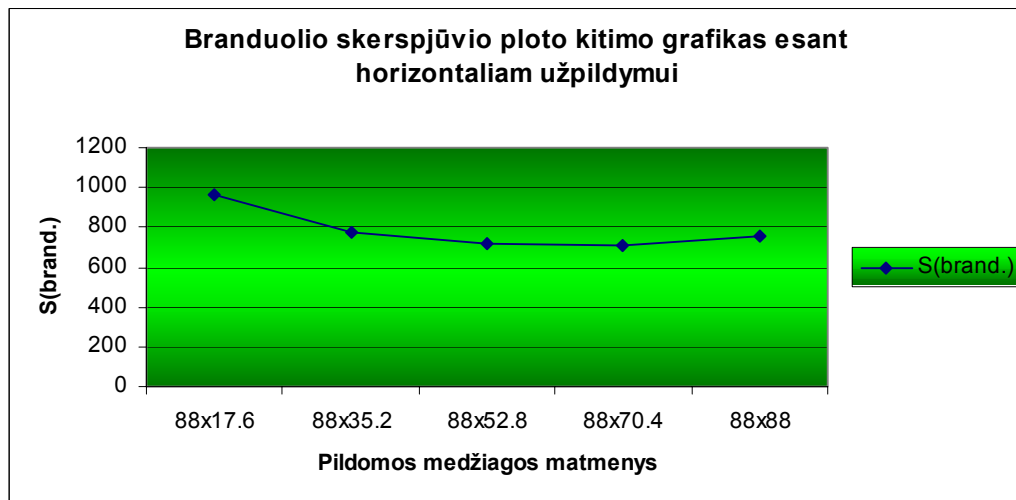
skerspjūvio branduolio ploto reikšmės, esant vertikaliam ir horizontaliam užpildymui;

	17.6x88	35.2x88	52.8x88	70.4x88	88x88	88x17.6	88x35.2	88x52.8	88x70.4
S(brand.)(mm ²)	1016	777	684	701	759	967	772	720	709

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **pav.3.2.1(a ir b)**;



a



b

3.2.1. pav.(a ir b) Branduolio skerspjūvio priklausomybė nuo užpildytos medžiagos kiekio.

Skerspjūvio branduolio plotas, didėjant užpildymo kiekiui, mažėja ir tai nepriklauso nuo to koks užpildymas yra: vertikalus ar horizontalus.

3.3 Tempiamų – gniuždomų daugiasluoksnės konstrukcijos standumo tyrimo skaičiavimai ir rezultatai , keičiant tamprumo modulių santykį E_1/E_2

Tokius pat skaičiavimus atliekame tam pačiam lygiašoniui kampainiui , kurio matmenys yra 100x100x12 , kurio $E=208(\text{Gpa})$, o užpildytos medžiagos matmenys yra 17,6x88, keičiant užpildymo medžiaga:

1. anglies plastikas , kurio $E=60(\text{Gpa})$;
2. karšto kietėjimo stikloplastikas, kurio $E=20(\text{Gpa})$;
3. šalto kietėjimo stiklo plastikas, kurio $E=9(\text{Gpa})$;
4. epoksidinė derva, kurios $E=1,6(\text{Gpa})$.

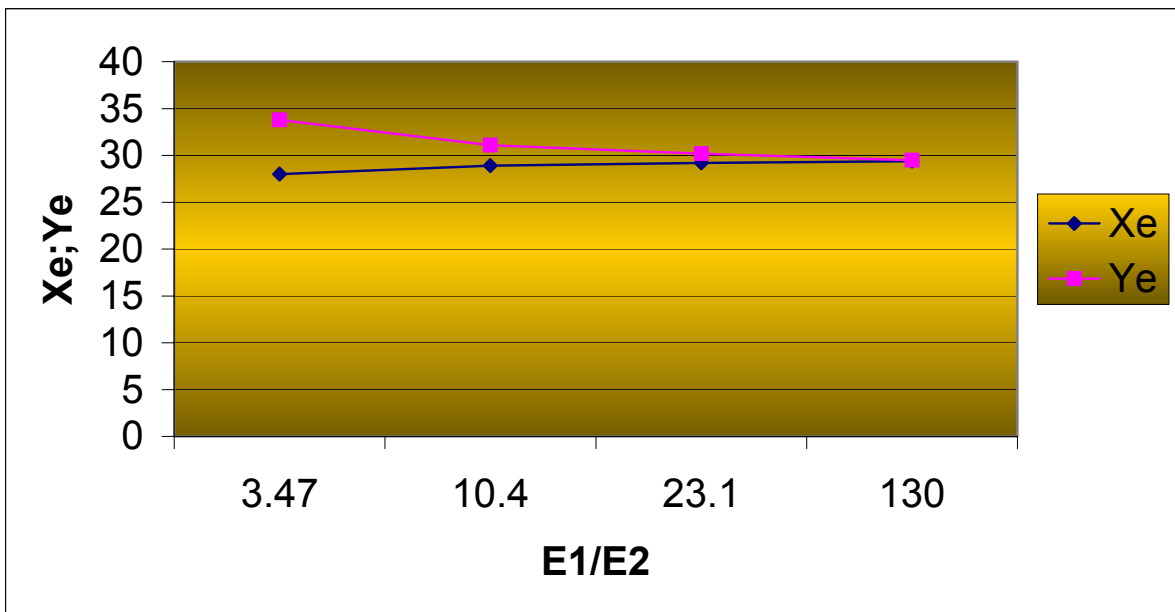
Konstrukcijos pjūvio geometrinio ir standumo centrų skaičiavimo rezultatai pateikti lentelėje 3.3.1;

Lentelė 3.3.1

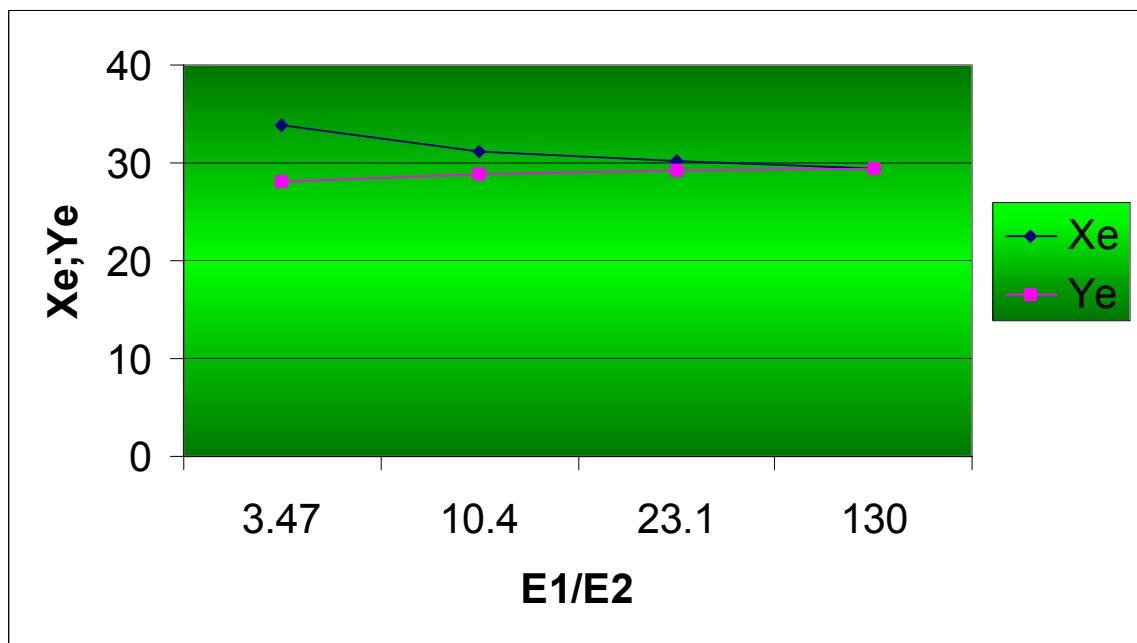
Standumo centro koordinatės , kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

	17.6x88				88x17.6			
	3.47	10.4	23.1	130	3.47	10.4	23.1	130
X_e (mm)	28	28.9	29.2	29.4	33.8	31.1	30.2	29.5
Y_e (mm)	33.8	31.1	30.2	29.5	28	28.9	29.2	29.4

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai 3.3.1 pav.a ir b;



a



b

3.3.1pav. (a ir b) Standumo centro priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio.

Standumo centro koordinatės, silpnėjant medžiagai, viena iš koordinatė mažėja, kita didėja tol, kol jos tampa vienodomis. esant vertikaliai ir horizontaliam užpildymui koordinatė dydžiai susikeičia vietomis

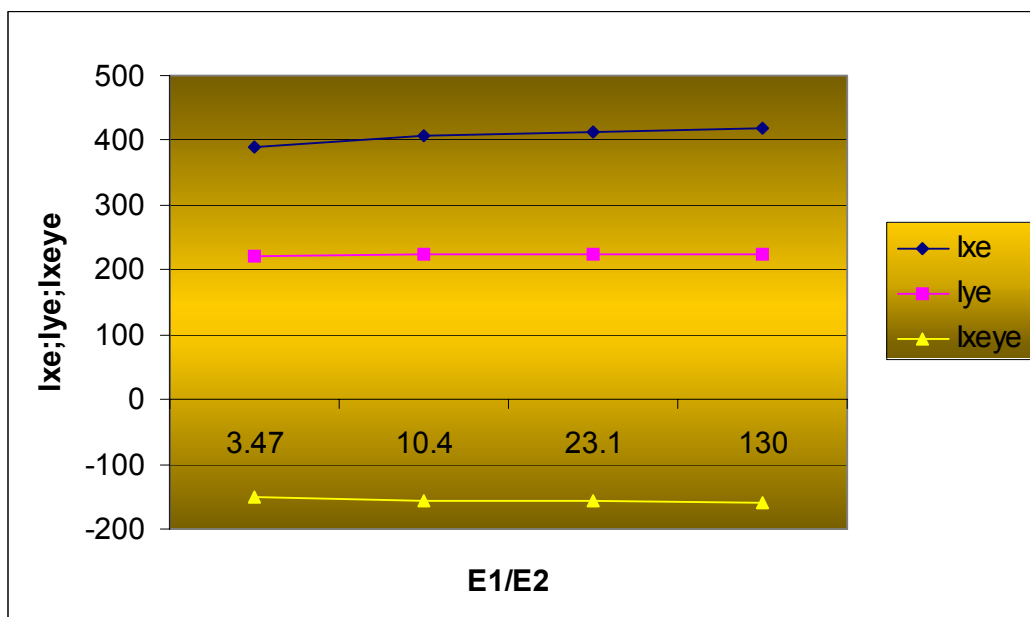
Centrinių ašinių ir išcentrinių inercijos momentų skaičiavimų rezultatus ašių x_E ir y_E atžvilgiu pateikiu **lentelėje 3.3.2**;

Lentelė 3.3.2

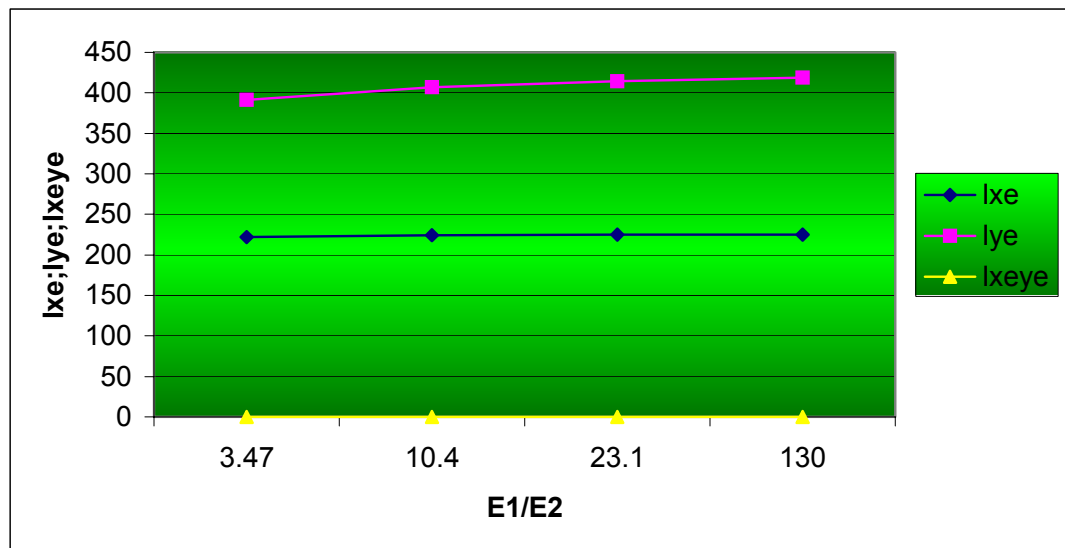
Ašinio ir išcentrinio inercijos momento reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santikis E_1/E_2 ;

	17.6x88				88x17.6			
	3.47	10.4	23.1	130	3.47	10.4	23.1	130
$I_{x_E}(m^4)$	391×10^{-8}	407×10^{-8}	414×10^{-8}	419×10^{-8}	222×10^{-8}	224×10^{-8}	225×10^{-8}	225×10^{-8}
$I_{y_E}(m^4)$	222×10^{-8}	224×10^{-8}	225×10^{-8}	225×10^{-8}	391×10^{-8}	407×10^{-8}	414×10^{-8}	419×10^{-8}
$I_{x_E y_E}(m^4)$	-150×10^{-8}	-155×10^{-8}	-157×10^{-8}	-159×10^{-8}	0	0	0	0

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **3.3.2 pav.(a ir b)**;



a



b

3.3.2 pav. (a ir b) Centrinų ašinių ir išcentrinų inercijos momentų priklausomybė nuo tamprumo modulių santykio

Ploto inerciniai momentai, silpnėjant medžiagai, didėja tačiau gan nežymiai.

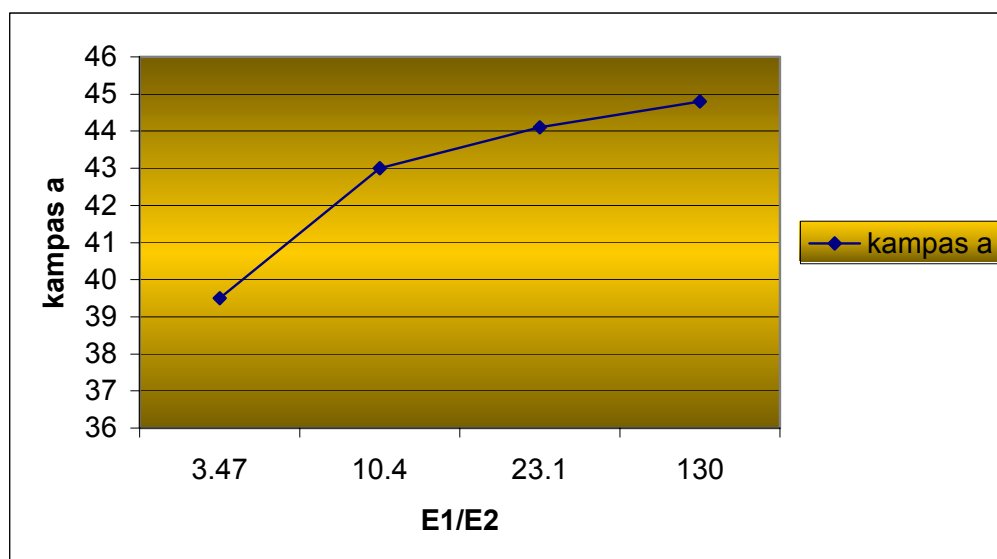
Apskaičiuotus svarbiausių ašių kampus α pateikiame **lentelėje 3.3.3**;

Lentelė 3.3.3

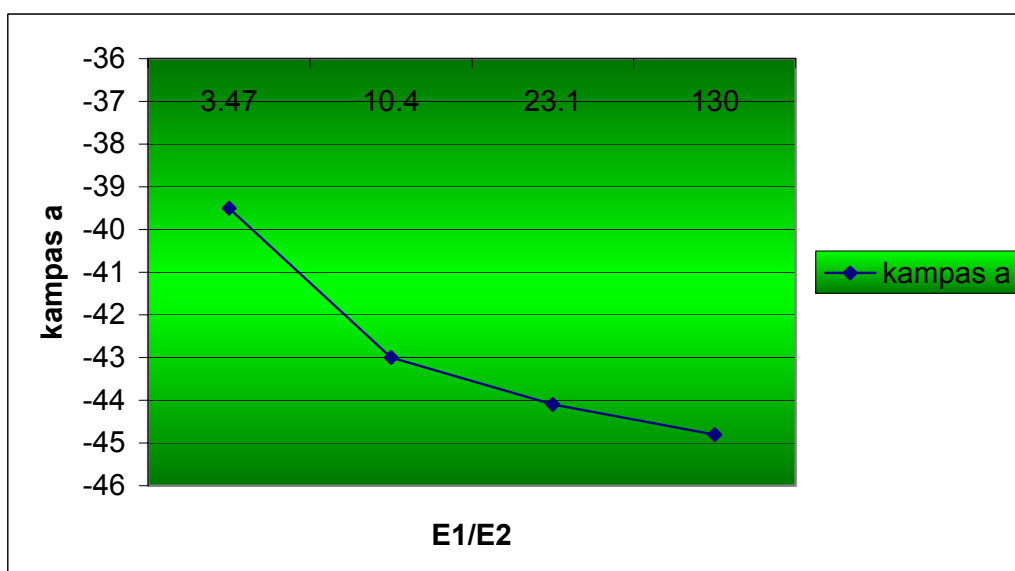
Svarbiausių ašių posūkio kampo reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

	17.6x88				88x17.6			
	3.47	10.4	23.1	130	3.47	10.4	23.1	130
kampas $\alpha(^{\circ})$	39.5	43	44.1	44.8	-39.5	-43	-44.1	-44.8

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **3.3.3 pav.(a ir b)**;



a



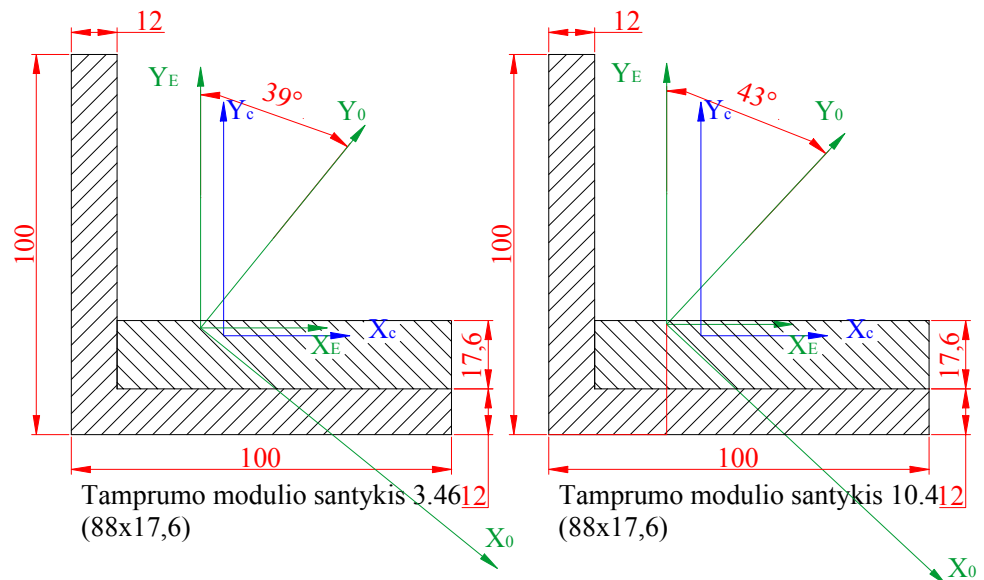
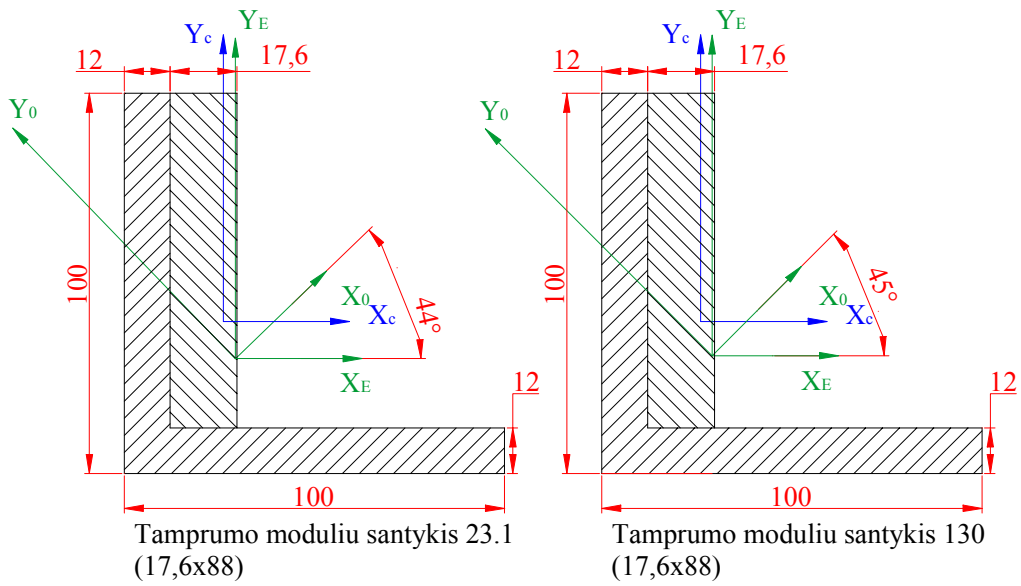
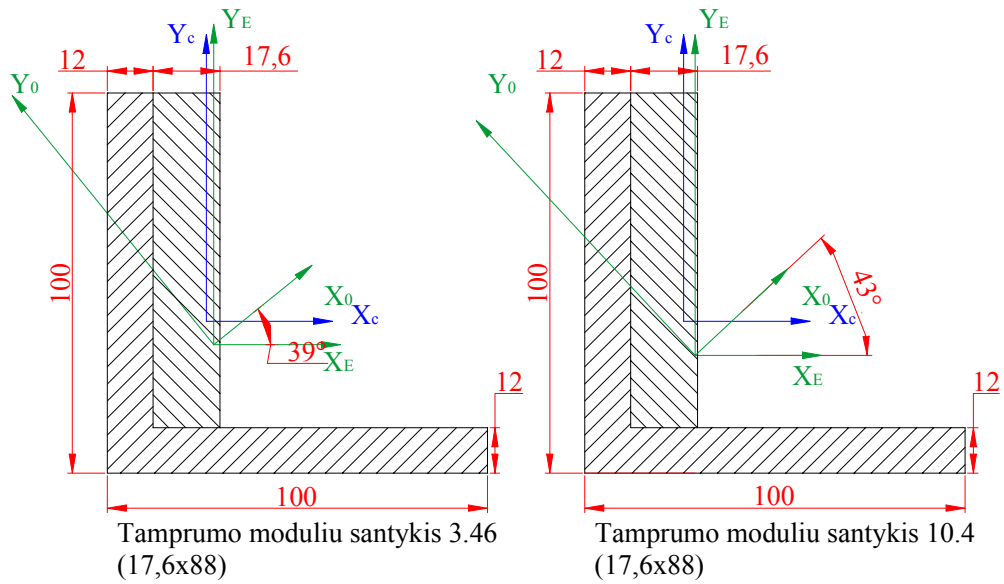
b

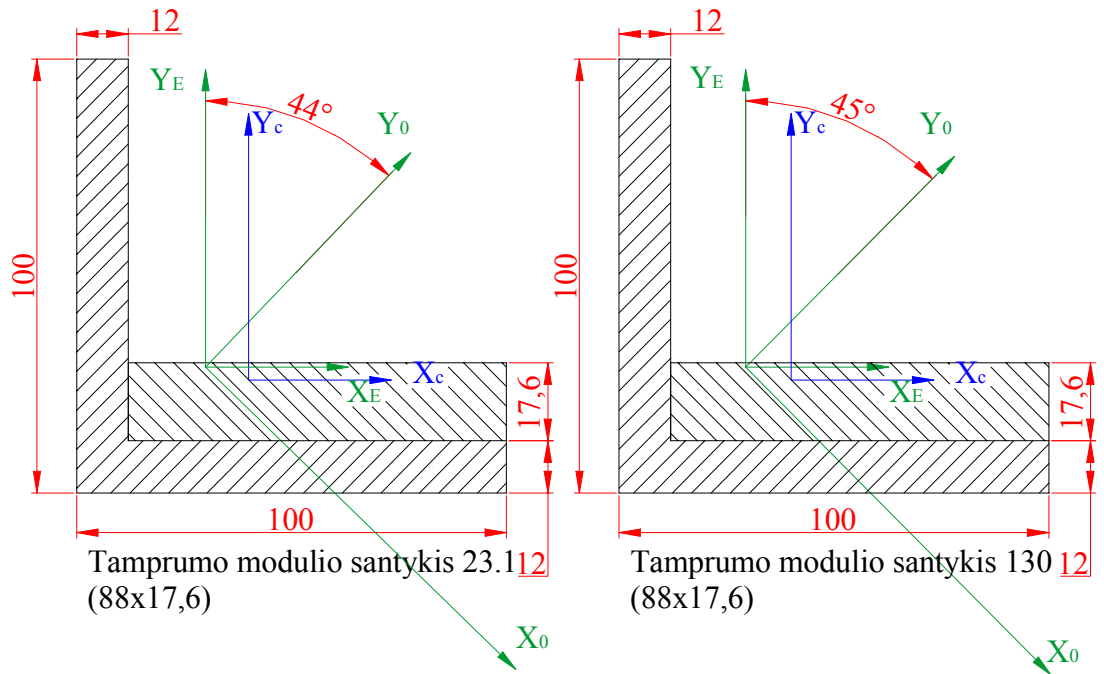
3.3.3 pav.(a ir b) Svarbiausių ašių kampo α priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio

Svarbiausių ašių posūkio kampas, silpnėjant medžiagai, artėja prie 45^0 . Esant vertikalaim ir horizontaliam užpildymui, kampas yra lygiai toks pat tik su priešingu ženklu.

Gautus geometrinius ir standumo centrus, bei svarbiausių ašių posūkio kampai pavaizduoti

3.3.3.1 pav.





3.3.3.1 pav. Geometriniai ir standumo centrai, bei svarbiausių ašių posūkio kampai, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

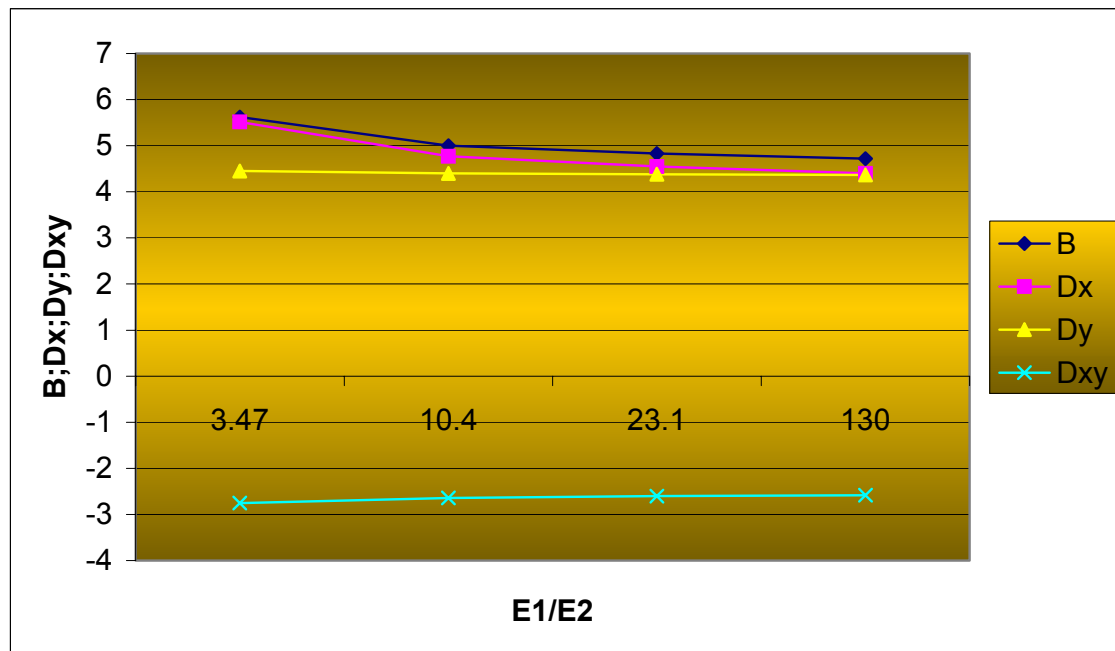
Apskaičiuotus standumus pateikiame **lentelėje 3.3.4**;

Lentelė 3.3.4

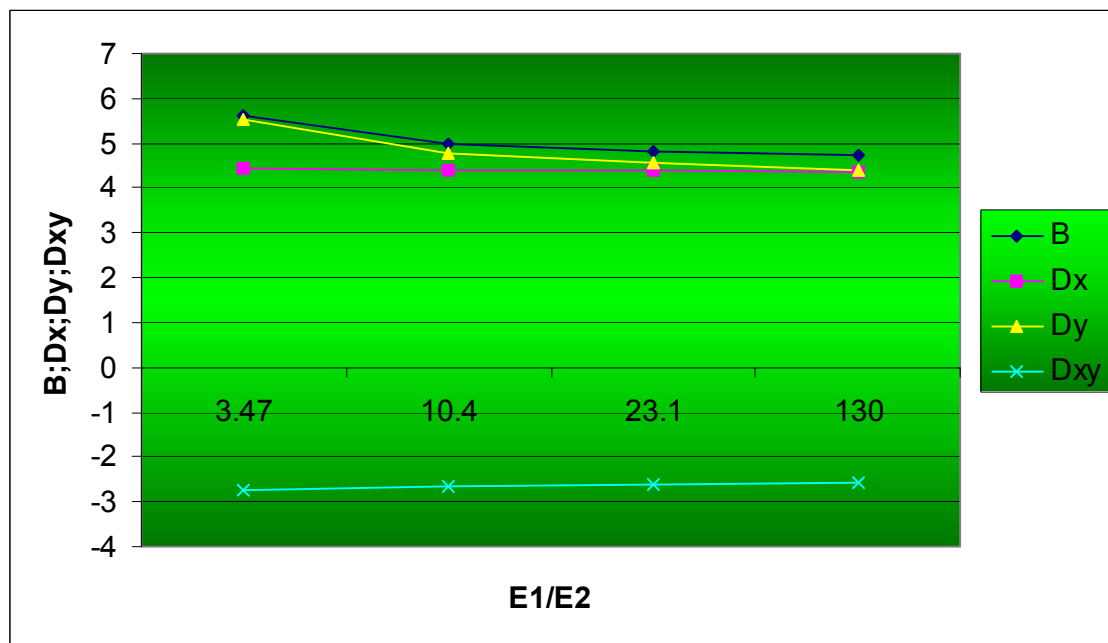
Ašinio ir išcentrinio standumo reikšmės, kai keičiasi tamprumo modulio santykis E_1/E_2 ;

	17.6x88				88x17.6			
	3.47	10.4	23.1	130	3.47	10.4	23.1	130
B(N)	5.62×10^8	5×10^8	4.83×10^8	4.72×10^8	5.62×10^8	5×10^8	4.83×10^8	4.72×10^8
$D_x (N \cdot m^2)$	5.52×10^5	4.77×10^5	4.55×10^5	4.4×10^5	4.45×10^5	4.4×10^5	4.38×10^5	4.37×10^5
$D_y (N \cdot m^2)$	4.45×10^5	4.4×10^5	4.38×10^5	4.37×10^5	5.52×10^5	4.77×10^5	4.55×10^5	4.4×10^5
$D_{xy} (N \cdot m^2)$	-2.75×10^5	-2.64×10^5	-2.6×10^5	-2.58×10^5	-2.75×10^5	-2.64×10^5	-2.6×10^5	-2.58×10^5

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai 3.3.4 pav.(a ir b);



a



b

3.3.4 pav. (a ir b) Standumo priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio

Standumai, silpnėjant užpildymo medžiagai, mažėja. Esant vertikaliai ir horizontaliam užpildymui, ašinis standumas visiškai nesikeičia, o ašiniai lenkimo standumai susikeičia vietomis.

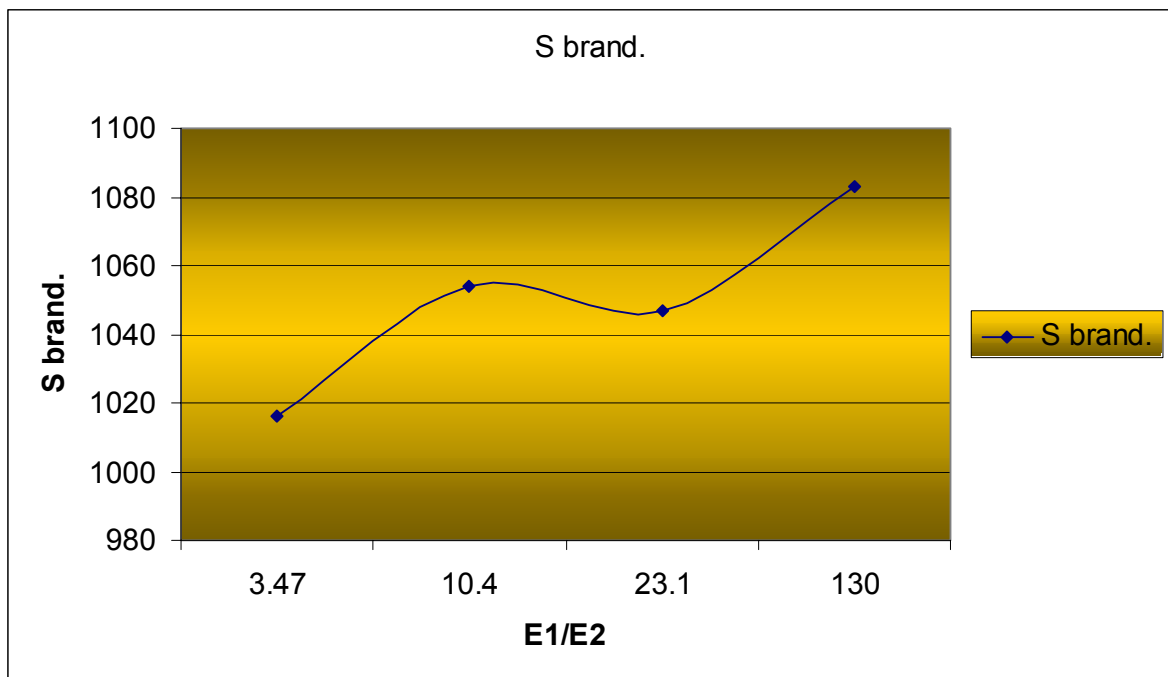
Branduolio ploto skaičiavimų rezultatus pateikiame lentelėje 3.3.5;

Lentelė 3.3.5

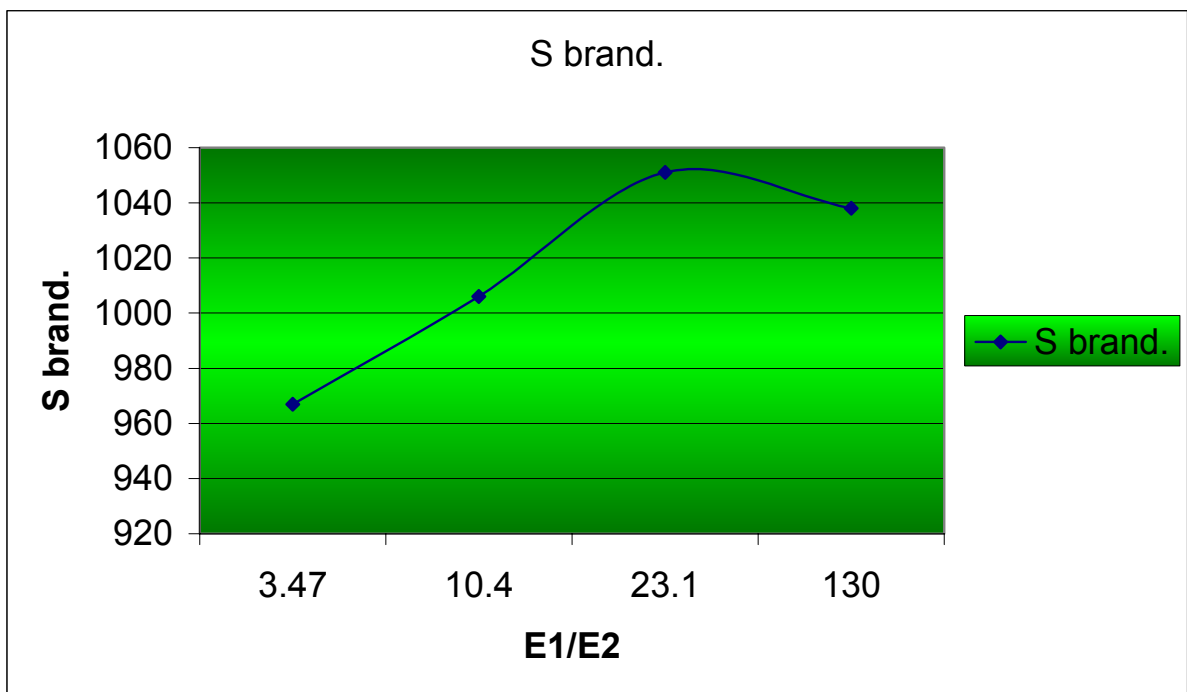
Skerspjūvio branduolio ploto reikšmės , keičiant tamprumo modulio santykį E_1/E_2 ;

	17.6x88				88x17.6			
	3.47	10.4	23.1	130	3.47	10.4	23.1	130
$S_{brand.}(mm^2)$	1016	1054	1047	1083	967	1006	1051	1038

Lentelės duomenis išreiškiu grafiškai **3.3.5 pav.(a ir b)**;



a

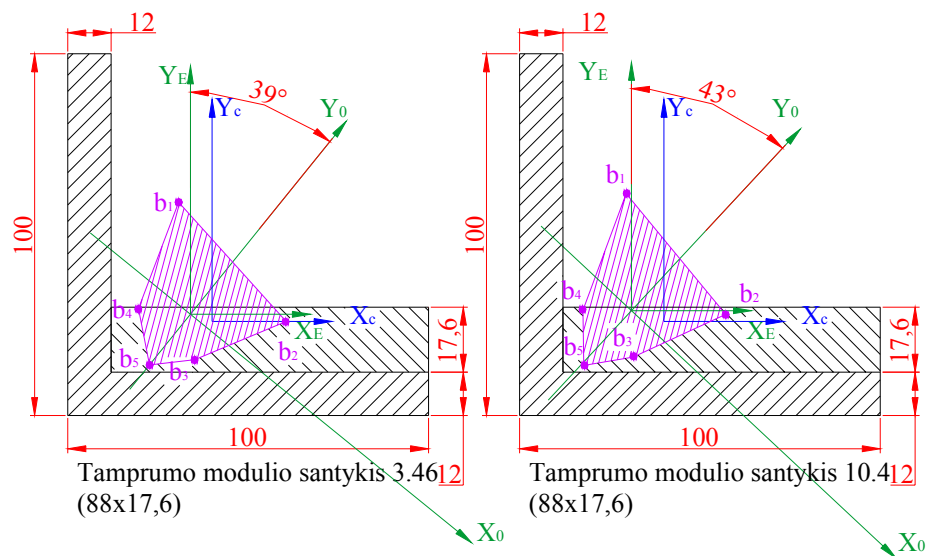
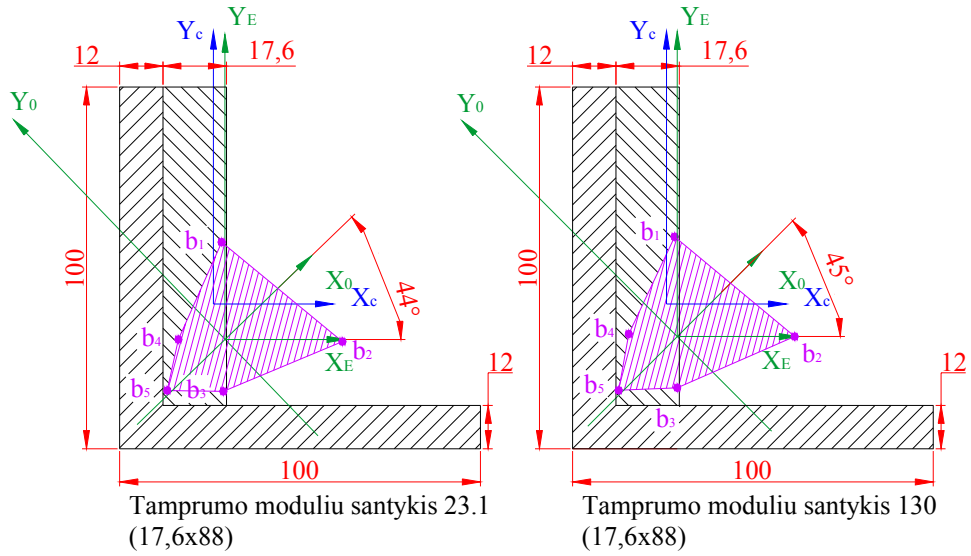
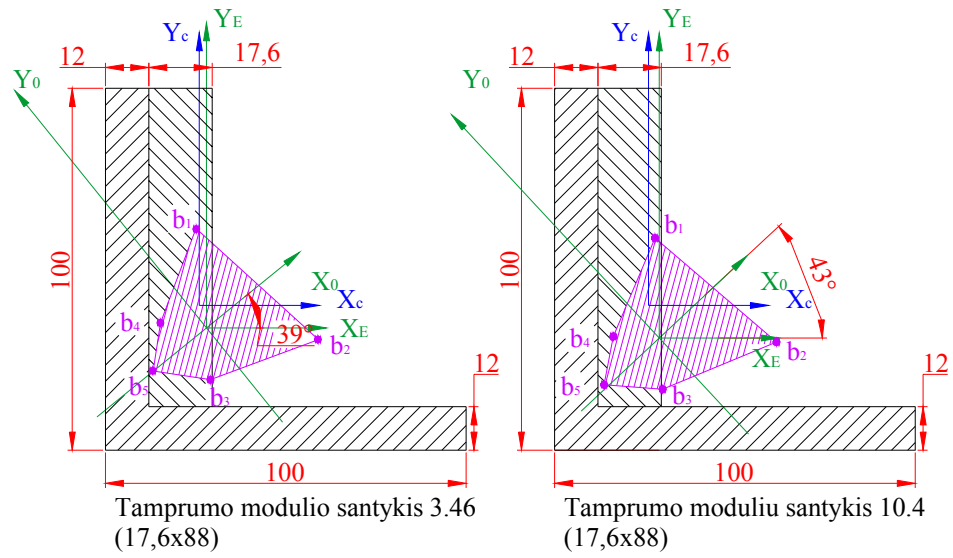


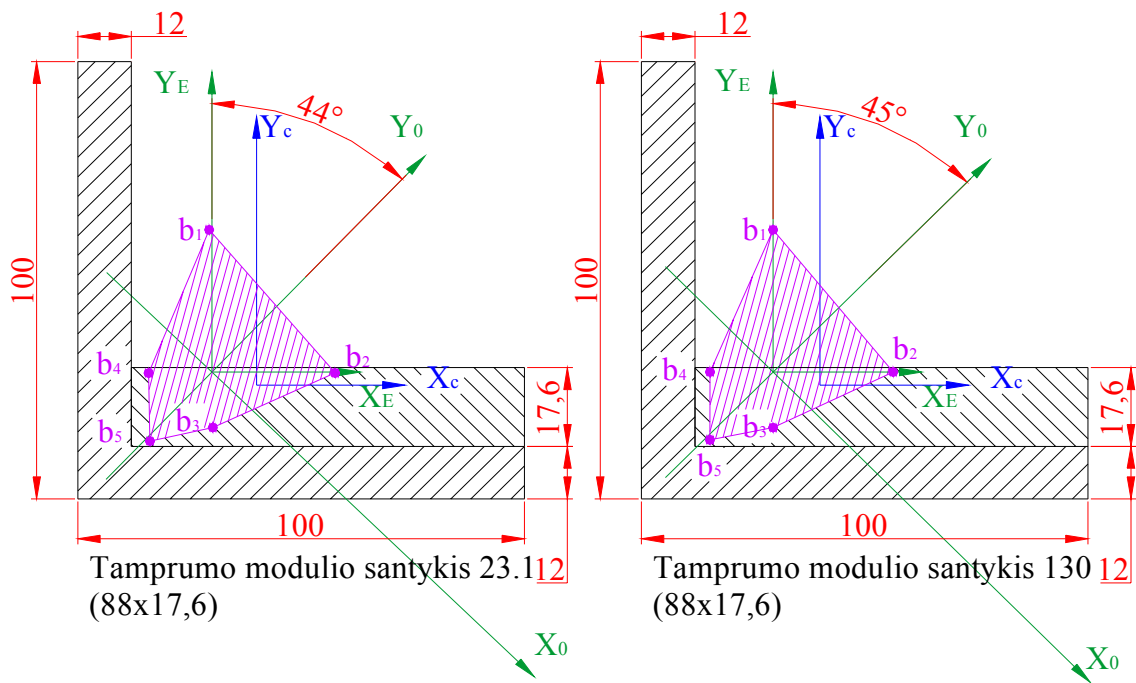
b

3.3.5 pav.(a ir b) Branduolio skerspjūvio ploto priklausomybė nuo tamprumo modulio santykio

Skerspjūvio branduolio plotas, silpnėjant mežiagai, kinta sudėtingomis kreivėmis. Vietomis jis didėja, o vietomis – mažėja.

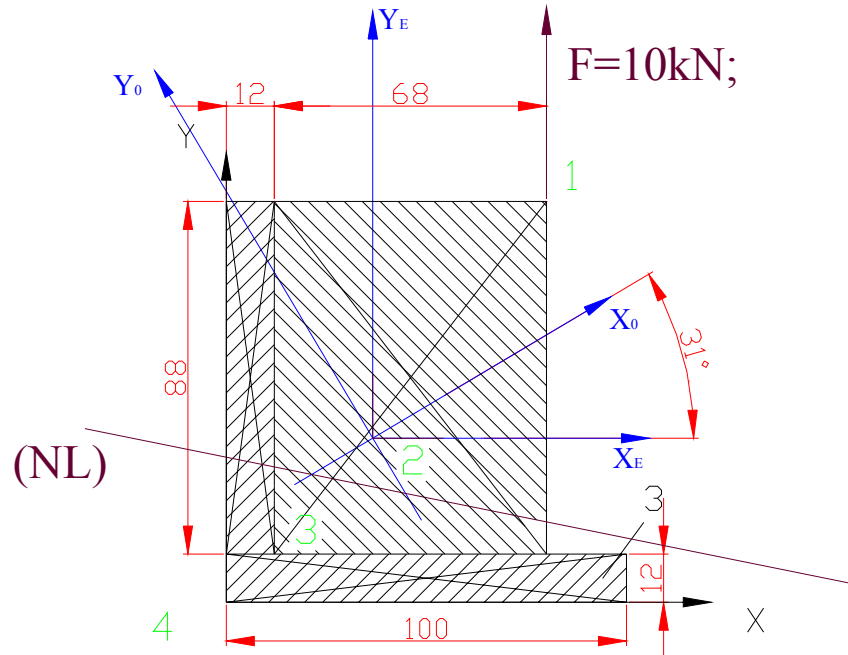
Skerspjūvio branduolio brėžiniai pavaizduoti **3.3.6 pav.**





3.3.6 pav. Skerspjūvio branduoliai , kai keičiasi tamprumo modulių santykis E_1/E_2 ;

4. ĮTEMPIMŲ PASISKIRSTYMAS SKERSPJŪVYJE, ESANT NECENTRINIAM TEMPIMUI – GNIUŽDYMUI



4.1 pav. Necentrinis tempimas – gniuždymas, neutraliosios linijos (NL) radimas; Surandame taškų, kuriuose neutralioji linija (NL) kerta svarbiausias centines ašis, koordinates pagal formulas (1.3.5) ir (1.3.6):

$$y_n = -\frac{8.12 \cdot 10^5}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.0595} = -0.016m; \quad x_n = -\frac{6.31 \cdot 10^5}{8.28 \cdot 10^8 \cdot 0.043} = -0.0177m.$$

Skaičiuojame normalinius įtempimus pagal formules (1.3.7), (1.3.8), (1.3.9) ir (1.3.10):

$$\sigma_{1Ni} = \frac{10 \cdot 10^3}{8.28 \cdot 10^8} \cdot 60 \cdot 10^9 = 0.72MPa;$$

$$\sigma_{1M(x)} = \frac{286}{8.12 \cdot 10^5} \cdot 0.0286 \cdot 60 \cdot 10^9 = 549458Pa = 0.55MPa;$$

$$\sigma_{1M(y)} = \frac{673}{6.31 \cdot 10^5} \cdot 0.0673 \cdot 60 \cdot 10^9 = 4306773Pa = 4.31MPa;$$

$$\sigma_1 = 0.72 + 0.55 + 4.31 = 5.58MPa;$$

$$\sigma_2 = \frac{10 \cdot 10^3}{8.28 \cdot 10^8} \cdot 60 \cdot 10^9 = 0.72MPa;$$

$$\sigma_{31Ni} = \frac{10 \cdot 10^3}{8.28 \cdot 10^8} \cdot 60 \cdot 10^9 = 0.72MPa;$$

$$\sigma_{32Ni} = \frac{10 \cdot 10^3}{8.28 \cdot 10^8} \cdot 208 \cdot 10^9 = 2.51MPa;$$

$$\sigma_{31M(x)} = \frac{286}{8.12 \cdot 10^5} \cdot (-0.0123) \cdot 60 \cdot 10^9 = -259936Pa = -0.26MPa;$$

$$\sigma_{32M(x)} = \frac{286}{8.12 \cdot 10^5} \cdot (-0.0123) \cdot 208 \cdot 10^9 = -901111Pa = -0.9MPa;$$

$$\sigma_{31M(y)} = \frac{673}{6.31 \cdot 10^5} \cdot (-0.036) \cdot 60 \cdot 10^9 = -2303771Pa = -2.3MPa;$$

$$\sigma_{32M(y)} = \frac{673}{6.31 \cdot 10^5} \cdot (-0.036) \cdot 208 \cdot 10^9 = -7986408Pa = -7.99MPa;$$

$$\sigma_{31} = 0.72 + (-0.26) + (-2.3) = -1.84MPa;$$

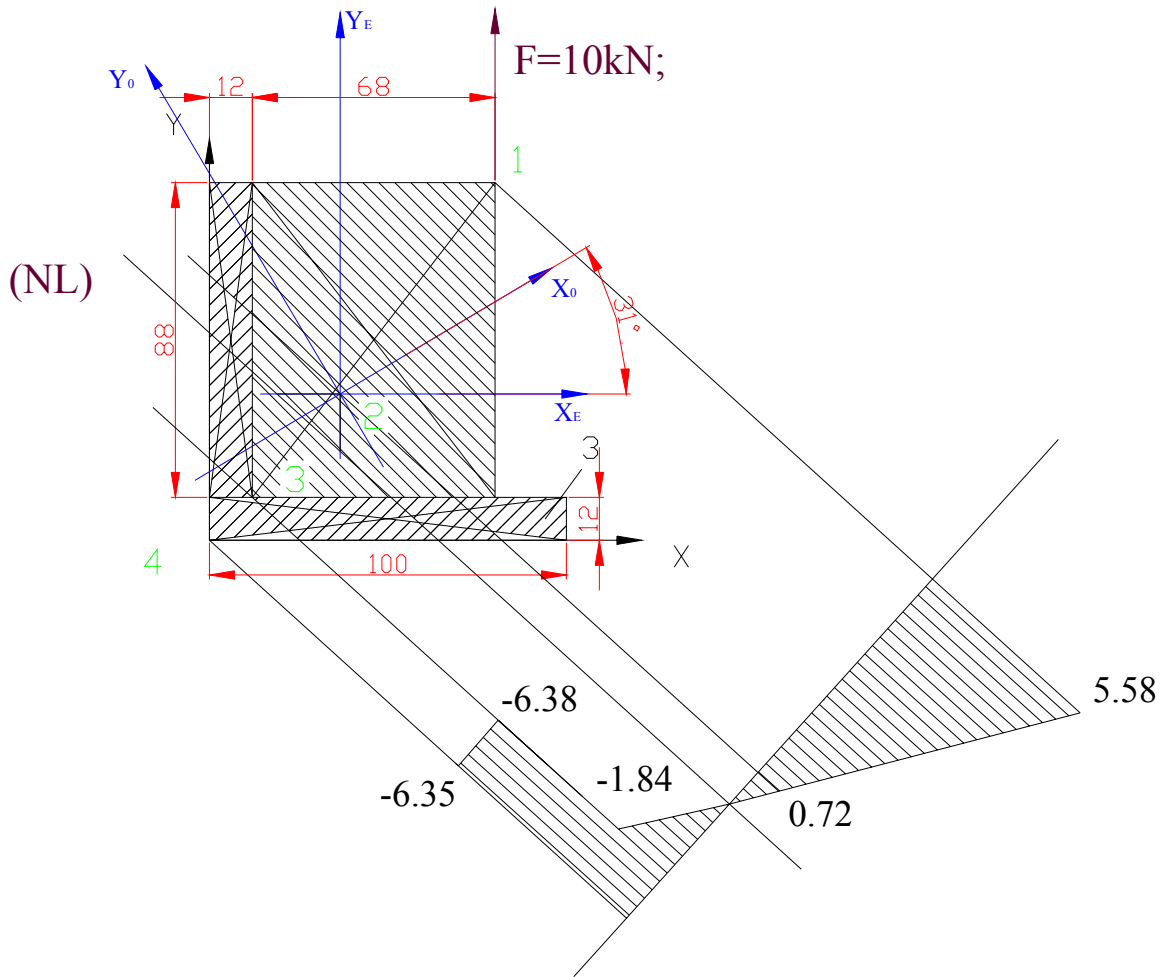
$$\sigma_{32} = 2.51 + (-0.9) + (-7.99) = -6.38MPa;$$

$$\sigma_{4Ni} = \frac{10 \cdot 10^3}{8.28 \cdot 10^8} \cdot 208 \cdot 10^9 = 2.51MPa;$$

$$\sigma_{4M(x)} = \frac{286}{8.12 \cdot 10^5} \cdot (-0.0123) \cdot 208 \cdot 10^9 = -901111Pa = -0.9MPa;$$

$$\sigma_{4M(y)} = \frac{673}{6.31 \cdot 10^5} \cdot (-0.0359) \cdot 208 \cdot 10^9 = -7964224Pa = -7.96MPa;$$

$$\sigma_4 = 2.51 + (-0.9) + (-7.96) = -6.35MPa;$$



4.2 pav. Daugiasluoksnės konstrukcijos įtempimų diagrama

Gavome įtempimų pasiskirstymą skerspjūvyje. Kaip matome didžiausi įtempimai yra gauti taškuose, kurie yra labiausiai nutolę nuo to taško, kur yra pridėta jėga. Įtempai neutraliojoje linijoje yra lygūs nuliui, o įtempimai standumo ašių centre yra tik nuo ašinės įrašos.

IŠVADOS

- Darbe išnagrinėta daugiasluoksnių strypų skaičiavimo metodika ir atlikti tyrimai, esant necentriniam ašiniam apkrovimui. Išsiaiškinta skerspjūvio branduolio skaičiavimo metodika daugiasluoksnių strypų atveju ir išnagrinėta jo ploto priklausomybė nuo strypo geometrinės formos ir nuo medžiagos tamprumo modulio. Taip pat nustatyti ašinio ir lenkimo standumų kitimo dėsningumai, bei įtempimų pasiskirstymas strypo skerspjūvyje.
- Nustatyta, kad keičiant strypo skerspjūvio formą:
 - a) Standumo centro koordinatės didėja lygiagrečiai geometrinėms koordinatėms, didėjant užpildymo laipsniui. Esant vertikaliai ir horizontaliai užpildymui grafikai yra praktiškai vienodi, tik x ir y koordinatės pasikeičia vietomis;
 - b) Strypo ašinis standumas didėja, didėjant užpildo kiekiui, didėja;
 - c) Svarbiausių ašių posūkio kampas didėja, ir pasiekus pilną užpildymą kampas yra lygus 45^0 ;
- Keičiant tamprumo modulių santykį gauta, kad:
 - a) Standumo centro koordinatės, silpnėjant medžiagai, viena koordinatė mažėja, o kita didėja tol, kol jos tampa vienodomis. Priešingu užpildymo atveju, koordinatės tik susikeičia vietomis.
 - b) Standumas, silpnėjant medžiagai, mažėja. Ašinio ir lenkimo standumo reikšmės artėja viena prie kitos. Priešingu užpildymo atveju, ašiniams standumams įtakos jokios neturi, o ašiniai lenkimo standumai susikeičia vietomis.
 - c) Svarbiausių ašių posūkio kampas, artėja prie 45^0 tiek vienu tiek kitu atveju, tik su priešingais ženklais.
- Skerspjūvio branduolio forma priklauso nuo apibrėžtinio daugiakampio kraštinių skaičiaus ir nepriklauso nuo strypą sudarančios medžiagos tamprumo modulio, tačiau jo parametrai kinta. Nustatyti skerspjūvio branduolio parametrų kitimo dėsningumai.
- Gavome įtempimų pasiskirstymą skerspjūvyje. Kaip matome didžiausi įtempimai yra gauti taškuose, kurie yra labiausiai nutolę nuo to taško, kur yra pridėta jėga. Įtempai neutraliojoje linijoje yra lygūs nuliui, o įtempimai standumo ašių centre yra tik nuo ašinės įrašos.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Bareišis J. Konstrukcinis stiprumas ir patikimumas. 1 dalis; Panevėžys, 2003. 49p.
2. Bareišis J. Konstrukcinis stiprumas ir patikimumas. 2 dalis; Panevėžys, 2003. 41p.
3. Čižas A. Aiškinamasis medžiagų atsparumo uždavinynas. A. Čižas, V. Viršilas, J. Žekevičius. Vilnius, 2000. 295p. ISBN 9986-546-95-8.
4. Žiliukas A. Medžiagų mechanika” Kaunas, 2004. 595p. IBNS 9955-09-729-9.
5. Bareišis J. Medžiagų mechanika. Šiauliai, 2000. 228p.
6. Bareišis J. Konstrukcinių elementų atsparumas. Šiauliai, 2003. 253p.