

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS STATYBOS FAKULTETAS METALINIŲ IR MEDINIŲ KONSTRUKCIJŲ KATEDRA

Ieva Misiūnaitė

SANTVARŲ NELAKŠTINIŲ MAZGŲ SKAIČIAVIMO IR KONSTRAVIMO YPATUMAI

DESIGN AND ESTIMATION OF WELDED TRUSS JOINTS BETWEEN SQUARE HOLLOW SECTIONS

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijos, 62402T107 Pastatų konstrukcijos Statybos inžinerija

Vilnius, 2008

Vilniaus	Gedimino	Technikos		ISBN ISSN			
Universitetas				Egz. sk			
Statybos fa	kultetas			Data			
Statinių konstrukcijų studijų programos baigiamasis magistro darbas							
Santvarų nelakštinių mazgų skaičiavimo ir konstravimo ypatumai							
Autorius Ie	Autorius Ieva Misiūnaitė Vadovas prof habil dr. Audronis Kazimieras Kvedaras						

Kalba X lietuvių užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjami santvarinių konstrukcijų iš kvadratinių vamzdžių tiesioginio jungimo mazgų skaičiavimo ir konstravimo ypatumai. Analizuojama konstrukcinių elementų elgsena mazge ir jos sąlygojamas jungties irties pobūdis. Nagrinėjamos takumo linijos teorijos taikymo galimybės sudarant analitinius modelius. Pateikiami analitiniai modeliai, taikomi mazgų ašinės laikomosios galios skaičiavimo algoritmams sudaryti, pateikiamiems projektavimo norminiuose dokumentuose. Aprašomas mazgą sudarančių konstrukcinių elementų projektavimas pagal STR 2.05.08:2005 ir EN 1993-1-1 reikalavimus, bei mazgų ašinės laikomosios galios nustatymas pagal STR 2.05.08:2005 8-tą priedą, bei EN 1993-1-8.

Darbe atlikta skaitinė projektavimo normose pateikiamų santvarinių konstrukcijų tiesioginio jungimo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo lyginamoji analizė. Suprojektuota santvarinė konstrukcija, kurios skaičiuojamoji schema parinkta tokia, kad būtų išanalizuoti visi projektavimo normose pateikiami tiesioginio jungimo mazgų tipai. Įrąžoms konstrukciniuose elementuose nustatyti pasinaudota kompiuterine skaičiavimo programa *Staad.pro*. Konstrukcinių elementų elgsenos mazge analizei pasinaudota kompiuterine programa *CosmosWorks*. Ištirta pagrindinių skaičiavimo algoritmuose pateikiamų rodiklių įtaka mazgo laikomąjai galiai. Norint parinkti santvaros konstrukcinius elementus ir nustatyti mazgų skaičiuotinę ašinę laikomąją galią bei atlikti skaitinę analizę buvo pasinaudota kompiuterine programa *Microsoft Office Exel* sudarytais skaičiavimo algoritmais.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 108 p. teksto be priedų, 72 iliustr., 52 lent., 28 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: laikomoji galia, analitiniai modeliai, takumo linijos teorija, norminiai dokumentai, santvarų mazgai iš kvadratinių vamzdžių

Vilnius Gediminas Technical University

Civil Engineering faculty

ISBN ISSN Copies No.

Steel and timber structures department

Date-....

Building structures study programme master thesis.

Title: Design and estimation of welded truss joints between square hollow sections

Author Ieva Misiūnait

Academic supervisor prof.habil.dr. A. K. Kvedaras



Annotation

This master thesis considers design and estimation of truss joints between square hollow sections. Behaviuor of joints and its failure modes analyzed. The posibility to apply the yield line theory for analytical models considered. Analytical models used for determining the design capacity of the joint formulae in design guids presented. Truss members design following STR 2.05.08:2005 and EN 1993-1-1 and joint design capacity calculation following STR 2.05.08:2008 8-th annex and EN 1993-1-8 presented.

It was made numerical convergence analysis between diferent design guidilines for estimating design capacity of the joint in this study. Truss structure designed, including all most commonly known joint types. Truss member loiding estimated using structural design and analysis software *Staad.Pro*. The behaviuor of the joint designed using finite element analysis software *Cosmos.Works*. Also the influence of governing joint parameters for the design capacity equations analysed. For truss structure design, capacity of the joint calculations and numerical analysis the calculation program was made using *Microsoft Office Exel* software .

Structure: introduction, literature review, research part, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 108 p. text without appendixes, 72 pictures, 52 tables, 28 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: capacity of the joint, analytical models, yield line theory, design guids, joints of square hollow sections

TURINYS

ĮVADA	.S	11
1. S	ANTVARŲ IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ IRTIES POBŪDIS IR TYRIMO	
METODAI.		13
2. A	NALITINIAI MODELIAI	17
2.1	Takumo linijos modelis	17
2.1.1	Takumo linijos modelis neatsižvelgiant į projektavimo normų reikalavimus	18
2.1.2	Takumo linijos modelio taikymas skaičiavimo algoritmams, pateikiamiems projektavi	mo
normose		21
2.2	Profiliuočio sienelės išsipūtimo arba vietinio klupumo irties modelis	26
2.3	Juostos išplėšiamosios šlyties modelis	29
2.4	Tinklelio elemento efektyviojo pločio modelis	30
2.5	Juostos šlyjamosios irties modelis	31
3. S	ANTVAROS IŠ KVADRATINIU VAMZDŽIU MAZGU KONSTRUKCINIU ELEMEN	TU
PROJEKTA	VIMAS	32
2 1	Contronos iš laus drotiniu come džiu monou konstrukciniu slomentu preisletovimos no sel D	NT
5.1 1002 1 1	Santvaros is kvadratinių vamzdzių mažgų konstrukcinių elementų projektavimas pagai E	20 20
2 1 1	Skaroniāviu klasifikasija	
3.1.1	1 Efektyviojo skersniūvio nustatymas	
3.1.2	Ašinės jėgos veikiami elementai	
3.1.2	Ašinės jegos ir lenkiamojo momento veikiami elementai	
3.2	Santyaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų konstrukcinių elementų projektavimas pagal S	TR
2.05.08.2	005	40
3.2.1	Ašinės jėgos veikiami elementai	40
3.2.2	Ašinės jėgos ir lenkiamojo momento veikiami elementai	40
4 0		
4. 5	ANT VAROS IS KVADRATINIŲ VAMZDZIŲ MAZGŲ SKAICIUOTINES ASINES	41
LAIKOMO	SIOS GALIOS NUSTATYMAS	41
4.1	Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios nustaty	/mas
pagl EN 1	1993–1–8	41
4.1.1	Elementų jungimas mazge	41
4.1.2	Bendrieji reikalavimai projektuojant mazgus ir jų tinkamumo ribos	42
4.1.3	Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios nust	atymo
algoritma	i 44	
4.2	Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės laikomosios galios nustatymas pa	agal
STR 2.05	.08:2005 (8 priedą)	47

4.2.1	Irties pobūdžiai ir mazgo laikomoji galia	47
4.2.2	Mazgų tipai ir jų žymenys	47
5. S	ANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ PROJEKTAVIMAS	51
5.1	Santvaros konstrukcinių elementų parinkimas ir laikomosios galios nustatymas	
5.1.1	"Santvaros 1" konstrukcinių elementų parinkimas	
5.1.2	"Santvaros 2" konstrukcinių elementų parinkimas	61
5.2	T, Y, X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymas	
5.3	K ir N tipo mazgų laikomosios galios nustatymas	72
5.4	KT tipo mazgų laikomosios galios nustatymas	76
6. S	ANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ ELGSENOS ANALIZĖ	
6.1	Y tipo mazgo laikomosios galios juostos plastinės irties atveju lyginamoji analizė	
6.2	K su tarpu tipo mazgų laikomosios galios juostos plastinės irties atveju lyginamoji an	alizė88
6.3	T, X, Y tipo mazgų laikomosios galios sienelės vietinio klupumo irties atveju lyginan	noji
analizė	92	
6.4	Įtempių ir deformacijų pasiskirstymo santvaros juostoje, kaip Y tipo mazgo konstrukt	ziniame
elemente	analizė	
6.5	Įtempių ir deformacijų pasiskirtymo santvaros juostoje, kaip K tipo mazgo konstrukci	niame
elemente	analizė	
LITER	ATŪROS SĄRAŠAS	
1 prie	edas	
2 prie	edas	112
3 prie	edas	114
4 prie	edas	
5 prie	edas	
6 prie	edas	
6 prie	edas	140
7 prie	edas	142
8 prie	edas	144
9 prie	edas	146
PAVEIKSI	LŲ SĄRAŠAS	
1 pav	v. Mazgo pagrindiniai rodikliai	
2 pav	 Deformacijų pasiskirstymas mazge 	13
3 pav	v. Mazgų iš kvadratinių vamzdžių laikomosios galios nustatymo metodai	14
4 pav	v. Kvadrinių vamzdžių elementų mazgų irties pobūdžiai	16
5 pav	 Konkurencingi plastinių lankstų sistemų modeliai 	
6 pav	7. Plokštelės deformavimosi schema, veikiant lenkiamajam momentui M	

7 pav.	Deformacinė lenkiamojo momento kreivė	21
8 pav.	Takumo linijos sritis	22
9 pav.	Itempių pasiskirstymas plokštelės storyje ribiniu atveju	22
10 pav.	Įrąžų pasiskirstymas plokštelės plotyje	22
11 pav.	Takumo linijos teorijos interpretacija vienalytei plokštelei	23
12 pav.	Takumo linijos teorijos taikymas tuščiaviduriam profiliuočiui	23
13 pav.	Mazgo Y juostos viršaus irties modelis (skaičiais 1–5 pažymėtos takumo linijos)	24
14 pav.	Juostoje veikiančias įrąžas įvertinanti funkcija $f(n)$, esant skirtingiems tinklelio	
elemento ir j	uostos pločių santykiams β	26
15 pav.	T, Y, X mazgo deformuota schema, kai rodiklis β kinta ribose $0.85 \le \beta \le 1.0$	27
16 pav.	Juostos šoninės sienelės klupumo irties schema	27
17 pav.	Juostos išplėšiamosios irties modelis	29
18 pav.	Tinklelio elemento irties sumažėjus efektyviajam pločiui modelis	30
19 pav.	Juostos šlyjamosios irties modelis	31
20 pav.	Europinės klupumo kreivės	38
21 pav.	funkcija ϕ	38
22 pav.	Tinkamumo ribos tarpui tarp tinklelio elementų	43
23 pav.	Galimi įražų pasiskirstymai mazge	47
24 pav.	K ir N tipo mazgų matmenų ir įrąžų žymenys	48
25 pav.	T ir X mazgų matmenų ir įrąžų žymenys	48
26 pav.	Analizuojamos santvaros skaičiuojamoji schema	51
27 pav.	Analizuojamos santvaros konstrukcinių elementų numeracija	52
28 pav.	Lenkiamųjų momentų pasiskirstymo santvaros elementuose schema	52
29 pav.	Ašinių jėgų pasiskirstymo santvaros elementuose schema	53
30 pav.	Nagrinėjama santvaros dalis ir mazgai	70
31 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	82
32 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	82
33 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	83
34 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	83
35 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	83
36 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei,	
nevertinant j	uostos įrąžų	85

37 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
38 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei, įvertinant
juostos įrąžas	86
39 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
40 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
41 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
42 pav.	Mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei, įvertinant
juostos įrąžas	87
43 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio
$\beta = 0,3125$ rei	kšmei, nevertinant juostos įrąžų
44 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei,
nevertinant juo	stos įrąžų
45 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei,
nevertinant juo	stos įrąžų
46 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei,
nevertinant juo	stos įrąžų
47 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei,
neįvertinant juo	ostos įrąžų
48 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio
$\beta = 0,3125$ rei	kšmei, įvertinant juostos įrąžas90
49 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
50 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
51 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas91
52 pav.	K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei,
įvertinant juost	os įrąžas
53 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros
juostos profiliu	iočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei

54 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo	santvaros
juostos profiliu	očio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei	
55 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo	santvaros
juostos profiliu	očio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei	
56 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo	santvaros
juostos profiliu	očio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei	
57 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo	santvaros
juostos profiliu	očio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei	94
58 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo	santvaros
juostos profiliu	očio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 1,0$ reikšmei	94
59 pav.	Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju rodiklinės β kreivė	s, esant
rodiklio $\gamma = 10$	reikšmei	
60 pav.	Įtempių deformacinės kreivės vamzdžio juostoje	96
61 pav.	Įtempių deformacinės kreivės vamzdžio sienelėje	96
62 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio	
$\beta = 0,75$ reikšr	nei	
	97	
63 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio	
$\beta = 0,875$ reiks	mei	
	97	
64 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio	
$\beta = 1,0$ reikšmo	еі	
	98	
65 pav.	K tipo mazgo deformuota schema	
66 pav.	Įtempių deformacinės kreivės profiliuočio juostoje	
67 pav.	Įtempių deformacinės kreivės profiliuočio sienelėje	
68 pav.	Įtempių rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,5$	
69 pav.	Įtempių rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,75$	
70 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,3125$	
71 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,5$	
72 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,625$	
73 pav.	Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,75$	
LENTELIU SAI	RAŠAS	
1. lentelė.	Kvadratinių vamzdžių santvarų tiesioginio jungimo mazgų tipai	
3.1 lentelė	Analitiniai metodai pagal skerspjūvių klases	
3.2 lentelė	Skerspjūvio klasės nustatymas	

3.3 lentelė.	Efektyvusis plotis b_{eff} 4 klasės plokščiuose gniuždomuose kvadratinio vamzdžio
elementuose [5]	36
3.4 lentelė.	Netobulumo pataisos koeficientai kvadratinių vamzdžių klupumo kreivėms
3.5 lentelė.	Lenkiamojo momento diagramos formos koeficientas β_M [7]
4.1 lentelė.	Juostos ir tinklelio elementų iš kvadratinių vamzdžių mazgų tinkamumo ribos [7]43
4.2 lentelė.	Papildomos sąlygos algoritmų mazgų ašinės laikomosios galios nustatymui naudojimui
[7]	
4.3 lentelė.	T, Y arba X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [7]44
4.4 lentelė.	K su tarpu ir N su tarpu tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [7].
4.5 lentelė.	K su užlaida ir N su užlaida tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai
[7]	
4.6 lentelė.	K su tarpu ir N su tarpu mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [19]50
4.7 lentelė.	T, Y arba X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [19]51
5.1 lentelė.	"Santvaros 1" apatinės juostos elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią įrąžą.
5.2 lentelė.	"Santvaros 1" apatinės juostos elementų laikomosios galios patikrinimas53
5.3 lentelė.	"Santvaros 1" viršutinės juostos elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią
įrąžą	
5.4 lentelė.	"Santvaros 1" viršutinės juostos elementų laikomosios galios patikrinimas54
pirmasis itera	cinis skaičiavimas
5.5 lentelė.	"Santvaros 1" viršutinės juostos elemento laikomosios galios patikrinimas55
n – asis iterae	cinis skaičiavimas
5.6 lentelė.	"Santvaros 1" tinklelio elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią įrąžą55
5.7 lentelė.	Pirmuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" tinklelio elementų laikomosios
galios patikrinima	ns
5.8 lentelė.	N-uoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" tinklelio elementų laikomosios
galios patikrinima	ns
5.9 lentelė.	"Santvaros 1" statramsčių elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią įrąžą59
5.10 lentelė.	Pirmuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" statramsčių elementų laikomosios
galios patikrinima	ns60
5.11 lentelė.	N-tuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 2" statramsčių elementų laikomosios
galios patikrinima	ns
5.12 lentelė.	"Santvaros 2" apatinės juostos elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą61
5.13 lentelė.	"Santvaros 2" apatinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo61
ir tikrinimo p	irmasis iteracinis skaičiavimas61
5.14 lentelė.	"Santvaros 2" apatinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo
ir tikrinimo r	-asis iteracinis skaičiavimas

5.15 lentelė.	"Santvaros 2" viršutinės juostos elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą	62
5.16 lentelė.	"Santvaros 2" viršutinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo	63
ir tikrinimo p	irmasis iteracinis skaičiavimas	63
5.17 lentelė.	"Santvaros 2" viršutinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo	63
ir tikrinimo n	-asis iteracinis skaičiavimas	63
5.18 lentelė.	"Santvaros 2" tinklelio elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą	64
5.19 lentelė.	"Santvaros 2" tinklelio elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo pirma	sis
iteracinis skaičiav	imas	66
5.20 lentelė.	"Santvaros 2" tinklelio elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo n-asis	
iteracinis skaičiav	imas	66
5.21 lentelė.	"Santvaros 2" statramsčių elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą	68
5.22 lentelė.	"Santvaros 2" statramsčių elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo pir	masis
iteracinis skaičiav	imas	69
5.23 lentelė.	"Santavaros 1" 4-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas	71
5.24 lentelė.	" Santvaros 2" 4-tojo mazgo tinkamumo sąlygos	71
5.25 lentelė.	"Santvaros 2" 4-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas	72
5.26 lentelė.	" Santvaros 1" 1-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimu	ıi73
5.27 lentelė.	" Santvaros 1" 1-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas	74
5.28 lentelė.	" Santvaros 2" 1-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimu	ıi74
5.29 lentelė.	"Santvaros 2" 1-ojo mazgo tinkamumo ribos	74
5.30 lentelė.	"Santvaros 2" 1-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas	75
5.31 lentelė.	"Santvaros 1" 6-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas	77
5.32 lentelė.	" Santvaros 2" 6-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimu	ıi77
5.33 lentelė.	" Santvaros 2" 6-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimu	ıi,
prokeltuojant KT	tipo mazgą su tarpu	78
5.34 lentelė.	" Santvaros 2" 6-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimu	ıi,
prokeltuojant KT	tipo mazgą su užlaida	78
5.35 lentelė.	"Santvaros 2" 6-ojo mazgo tinkamumo sąlygos	79
5.36 lentelė.	"Santvaros 2" 6-ojo mazgo tinkamumo sąlygos (antrasis iteracinis skaičiavimas).	79
5.37 lentelė.	"Santvaros 2" 6-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas	80
5.38 lentelė.	"Santvaros 1" mazgų projektavimo suvestinė	80
5.39 lentelė.	"Santvaros 2" mazgų projektavimo suvestinė	81

ĮVADAS

Tuščiaviduriai profiliuočiai yra lanksčiai taikomi elementai plieno konstrukcijose. Taip pat dėl nesudėtingo perdirbimo proceso yra palankūs elementai aplinkosaugos atžvilgiu. Dėl nesudėtingos šių profiliuočių skerspjūvio formos ir gerų mechaninių savybių jų panaudojimas, projektuojant plienines konstrukcijas, leidžia išvengti sudėtingų skaičiavimų ir pasiekti reikiamą laikomąją galią.

Santvarinėse konstrukcijose tuščiavidurių profiliuočių panaudojimas, dėl jų didelės klumpamosios galios, leidžia projektuoti didesnių tarpatramių statinius. Dėl gero uždaro profilio konstrukcijų sukamojo standumo, santvarios, kaip ir pavieniai tuščiaviduriai profiliuočiai pasižymi pakankama laikomąja galia sukamajam išklupimui.

Tiesioginio jungimo mazgų konstravimas santvarinėse konstrukcijose yra daug paprastesnis ir efektyvesnis nei panaudojant mazginius lakštus.

Santvarinių konstrukcijų mazgai priimami kaip tariamai lankstiniai, o tinklelio elementai projektuojami tik kaip veikiami ašinių jėgų. Atsižvelgiant į tai, kokie yra santvaros juostos ir tinklelio elementų matmenys, mazgo standumas gali būti įvertintas sumažinant tinklelio elementų klumpamąjį ilgį. Skersinės jėgos santvaros juostoje tarpe tarp tinklelio elementų sukelia lenkimo momentus, dėl to santvaros juosta turi būti tikrinama kaip gniuždomasis lenkiamasis elementas (žr. 3.1.3). Skaičiuojant santvaros gniuždomųjų konstrukcinių elementų laikomąją galią, plonasieniai vamzdžiai yra praktiškesnis pasirinkimas, tačiau tikrinant mazgo laikomąją galią, plonasienio vamzdžio plati juosta yra mažiau efektyvi nei storasienio – siaura.

Mazgų projektavimo algoritmai iš dalies remiasi bandymų rezultatais. Sprendžiant mazgų laikomosios galios tikrinimo uždavinius, naudojantis minėtais algoritmais, labai svarbu, kad juostų ir tinklelio elementų iš kvadratinių vamzdžių mazgai tenkintų tinkamumo ribas (žr. 4.1 lentelę).

Tuščiavidurių profiliuočių santvarų mazgų tipai pateikiami 1 lentelėje, o matmenų žymenys 1 paveiksle.



1 pav. Mazgo pagrindiniai rodikliai

Svarbiausieji nagrinėjami rodikliai:

- ✓ tinklelio elemento ir juostos skerspjūvio pločių santykis : $\eta = \beta = \frac{b_1}{b_0}$ arba $\beta = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i}{m \cdot b_0}$;
- ✓ juostos skerspjūvio pločio ir dvigubo sienelės storio santykis: $\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0}$;
- ✓ tarpo tarp tinklelio elemetų ir juostos skerspjūvio sienelės storio santykis: $g' = \frac{g}{t_0}$.
- 1. lentelė. Kvadratinių vamzdžių santvarų tiesioginio jungimo mazgų tipai



Atsižvelgiant į kvadratinių vamzdžių įvairius geometrinius rodiklius ir elementų jungimo variacijas, būtina aptarti nemažai mazgų irties pobūdžių.

Elementai mazge išorinių jėgų veikiami sąveikauja, vyksta kompleksinis jėgų persiskirstymas, kurio įtaka pasireiškia deformacijų forma (žr. 2 pav.).

Plieninių konstrukcijų projektavimo norminiuose dokumentuose suformuluoti algoritmai tipinių mazgų skaičiavimui yra analitinių metodų ir bandymais gautų konstantų samplaika. Tuo remiantis vienas darbo tikslų yra išsiaiškinti analitinius modelius, kuriais grindžiami norminiuose dokementuose pateikiami skaičiavimo algoritmai ir ar tikrai pasirinktos analitinės metodikos tiksliai aprašo elementų elgsenos mazge ypatumus ir jų sąlygojamą irties pobūdį. Kadangi skaičiavimo metodikos pateikiamos norminiuose dokementuose remiasi svarbiausiųjų rodiklių reikšmėmis, tiesiogiai sietinomis su santvaros elementų matmenimis, svarbu nustatyti jų įtaką mazgo laikomąjai galiai ir poveikio ribas.



2 pav. Deformacijų pasiskirstymas mazge

Šiuo metu Lietuvoje santvaras ir jų nelakštinius mazgus galima projektuoti remiantis, tiek STR 2.05.08:2005 [20] ir STR 2.05.08:2005 8 – ojo priedo [19], tiek ir EN 1993-1-1 [6] ir EN 1993-1-8 [7] nuostatomis, todėl tikslinga atlikti šių metodikų lyginamają analyzę. Be to ateityje Lituvoje įsigalios tik [6] ir [7] dokumentai, todėl svarbu susipažinti su juose pateikiamų metodikų pagrindiniais principais. Lietuvoje šiuo metu geriau žinomos Rytų Europos šalyse paplitusios terijos taikomos santvaros mazgų elgsenai aprašyti [19], kadangi [6] ir [7] metodikos yra paremtos Vakarų Europos mokslininkų darbais, tikslinga išsiaiškinti kokiomis teorijomis ir prielaidomis jos buvo formuluojamos, ar yra sąsaja tarp abiejų metodikų analitinio pagrindimo.

1. SANTVARŲ IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ IRTIES POBŪDIS IR TYRIMO METODAI

Paprasčiausiu būdu, plieninių elementų laikomoji galia gali būti nustatoma metodais pateikiamais 3 pav.:

- ribinių apkrovų metodas (5)
- deformacijų metodai (2) ir (3)

• vizualios irties pradžios metodas (4)



3 pav. Mazgų iš kvadratinių vamzdžių laikomosios galios nustatymo metodai

čia:

- 1 tamprumo riba;
- 2 deformacijų riba;
- 3 liekamųjų deformacijų riba;
- 4 irties pradžia;
- 5 ribinė apkrova.

Ribinės apkrovos metodas yra plačiausiai taikomas tuščiavidurių profiliuočių mazgams, veikiamiems gniuždymo apkrovos ir yra svarbiausias nustatant laikomąja galią, kadangi nėra visuotinio susitarimo dėl laikomosios galios nustatymo, įvertinant netiesinę elgseną. Tačiau ribinė apkrova yra pasiekiama tik po pernelyg didelių deformacijų (pav. T, Y ir X mazguose), todėl skaičiuojant laikomąją galią netiesiogiai įvertinama deformacijų riba. Tai daroma dėl dviejų priežasčių:

- 1) kad išvengti dviejų patikrinimų: mazgo laikomosios galios ir mazgo standumo;
- norint išvengti didelių deformacijų, o kita vertus, su atitinkama atsarga įvertinti tempiamųjų elementų mazge mažesnę laikomąją galią, pasinaudojant to paties stiprumo gniuždomojo elemento laikomąja galia.

Pagal tai kokių yra apkrovos variantų, mazgo ir jį sudarančių elementų rodiklių, gali būti skiriami charakteringi irties pobūdžiai (žr. 4 pav.).

- A. Plastinė juostos irtis arba juostos plastifikacija (juostos skerspjūvio plastinė irtis)
- B. Juostos šoninės sienelės irtis, išsipūtimas arba vietinio klupumo irtis, tinklelio elemente veikiant gniuždymo įrąžai;
- C. Juostos išplėšimas, tinklelio elemente veikiant tempimo įrąžai arba praspaudimas tinklelio elemente veikiant gniuždymo įrąžai;

- D. Tempiamojo tinklelio elemento nutraukimas (kai tinklelio elemento efektyvusis plotis yra pastebimai per mažas, tinklelio elemento profiliuotis nutraukiamas arba nutraukiama suvirinimo siūlė);
- E. Gniuždomojo tinklelio elemento vietinio klupumo irtis (įvardijama, kaip irtis dėl efektyviojo pločio sumažėjimo);
- F. Juostos šlyjamoji irtis;
- G. Juostos tuščiavidurio profiliuočio vietinio klupumo irtis už tempiamojo tinklelio elemento.



Forma G: juostos lokalinis išklupimas

4 pav. Kvadrinių vamzdžių elementų mazgų irties pobūdžiai

Dažniausiai mazgo irtis įvyksta pasireiškiant kompleksiniam minėtų irties pobūdžių atvejui. Juostos plastifikacija – dažniausiai pasitaikanti irtis (pobūdis A) mazguose su tarpu tarp tinklelio elementų, esant mažai arba vidutinei rodiklio β reikšmei (2 pav.). Kai rodiklis β patenka į 0,6 – 0,8 ribas, tai mazgo irtis (pobūdis A) pasireiškia kartu su juostos sienelės išklupimu (pobūdis B) arba veikiant tempimo įražai tinklelio elemente, tiklelio elemento irtimi (pobūdis C), šis pobūdis (pobūdis A) ypač dažnai pasitaiko, esant juostos vamzdžio jungčiai su plonasieniu tinklelio elemento vamzdžiu. Irties pobūdis pasireiškiant vietiniam klupumui (pobūdis D) dažniausiai sutinkamas mazguose su persidengiančiais tinklelio elementais. Juostos šlyjamoji irtis (pobūdis F) pasireiškia mazguose su tarpu tarp tinklelio elementų kai rodiklio β reikšmė artima 1,0. Vietinio klupumo irtis (formos F ir G) charakteringa jungtims, kurias sudaro liauni elementai ir priklauso nuo $\frac{b_0}{t_0}$ santykio rodiklio γ . Suvirinimo siūlės irties galima išvengti užtikrinus, kad jos laikomoji galia bus didesnė nei mazgo.

gana ous didesne nei mazgo.

2. ANALITINIAI MODELIAI

Skaičiuojant mazgus analitiniai modeliai naudojami elementų elgsenai jungtyje aprašyti ir pagrindiniams veikianties rodikliams nustatyti. Modelis, kuris įvertintų visus veikiančius rodiklius būtų per daug sudėtingas, todėl naudojami idealizuoti ir supaprastinti modeliai, kuriuose įvertinami tik pagrindiniai, didžiausią įtaką turintys rodikliai, mazgo laikomajai galiai nustatyti, atsižvelgiant į elementų sudarančių jungtį elgseną. Toks analitinis modeliavimas, pagrįstas eksperimentais, leido suformuluoti pusiau empirines formules skaičiuojant mazgų laikomąją galią.

2.1 Takumo linijos modelis

Takumo linijos modelis yra plačiai naudojamas skaičiuojant kvadratinių vamzdžių mazgus. Mazgams, kuriuose tinklelio elemento ir juostos pločių santykis, t.y., rodiklis β kinta ribose tarp mažos ir vidutinės, mazgo laikomoji galia gali būti skaičiuojama pasinaudojant supaprastintu takumo linijos metodu. Šiuo metodu sudarytos skaičiavimo metodikos [1] panaudotos rekomendacijų formulavimui [7] ir [4], skaičiuojant mazgų laikomąją galią. T tipo mazgų laikomosios galios nustatymo algoritmai yra teoriniai, o K tipo mazgų labiau remiasi eksperimentiniais rezultatais.

Daugkartinių skaičiavimų metu buvo patebėta, kad naudojant supaprastintą takumo linijos modelį skaičiuojant T, Y arba X tipo mazgus, kai rodiklis $\beta \le 0.85$ (žr. 5 pav.), gauti rezultatai labai nežymiai skiriasi nuo tų, kai skaičiavimams naudojami daug sudėtingesni modeliai. Atsižvelgiant į tai, kad supaprastintame takumo linijos modelyje neįvertinami membraniniai įtempiai ir sudėtingas įtempių būvis, taip nepakankamai įvertinant tikrąją ribinę laikomąją galią. Skaičiuojant T, Y ir X tipo mazgus yra įvedama plieno stiprio pagal takumo ribą reikšmė tam, kad išvengtume didelių deformacijų projektavimo metu. Skaičiuojant K ir N tipo mazgų laikomąja galią membraninis poveikis yra įvertinamas pusiau empiriniu būdu.

[7] projektavimo normose pateikiamos rekomendacijos tiesioginio jungimo virintinių mazgų skaičiavimui remiasi skaičiavimų naudojantis takumo linijos teorija.

Įvertinant juostos plastifikaciją T, Y, X tipo mazguose yra pateikiama viena formulė vardinei ir skaičiuotinei laikomąjai galiai nustatyti. Tuo tarpu K, N tipo mazgams vardinė laikomoji galia yra 10% didesnė nei skaičiuotinė (8.9/1.1, konstanta 8.9 laikomosios galios formulėje [7]). Proejektavimo normose laikomosios galios skaičiavimas apribotas mazgo ir jį sudarančių elementų matmenimis bei pagrindiniais rodikliais.

2.1.1 Takumo linijos modelis neatsižvelgiant į projektavimo normų reikalavimus

Klasikinė takumo linijos teorija gali būti patobulinta į skaičiavimus įtraukiant šlyjamuosius ir membraninius įtempius. Visa laikomoji galia gali būt užrašyta kaip atskirų takumo linijų inicijuojamų laikomojų galių suma.

[15] pateikiama takumo linijos teorijos modifikaciją, įvertinant vienaašį įtempių būvį plastiniame lankste ir šlyjamųjų įtempių korekciją į vienaašį įtempių būvį.

K ir T tipo mazguose vykstant juostos paviršiaus plastifikacijai takumo linijos dvipusio linkio vietoje laikomoji galia priimama veiksnia visose rodiklio β reikšmių robose, t.y., $0 < \beta < 1$. Mazgo laikomoji galia remiantis čia aprašomu metodu, traktuojama kaip suma šlyjamosios galios skerspjūvio pločio vienete padaugintos iš takumo linijos ilgio ir laikomosios galios briaunos (briaunų) vietoje.

Šlyjamoji galia ilgio (skerspjūvio pločio) vienete q_p , gali būti užrašyta taip [16]:

$$\frac{q_p}{q_{p0}} = \frac{t_0}{g}, \ q_{p0} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0,$$
(2.1)

čia: t_0 – santvaros juostos vamzdžio sienelės storis, g – tarpas tarp plastinių lankstų, q_{p0} – juostos paviršiaus grynoji šlytis, f_{y0} – santvaros juostos vamzdžio sienelės ašinis takumo stipris plastinio lanksto vietoje.

Šlyjamuosius įtempius išreiškus šlyjamaja galia, gauname išraiška [16]:

$$\frac{q_p}{q_{p0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (g/t_0)^2}},$$
(2.2)

Deformacijos metu juostoje susidariusių linkių (briaunų) vietoje laikomoji galia gali būti užrašyta taip [16]:

$$N_{kc} = \pi f_{y0} t_0^2 \frac{1}{\sqrt[4]{(2g_l / t_0)^2 + 3.43}} \sqrt{\frac{b_0}{t_0} - 1}, \qquad (2.3)$$

čia: N_{kc} – laikomoji galia briaunos vietoje ("Knife Edge Capacity"), skersinės briaunos ruožas, plotyje b_i , suvirinimo su juosta vietoje, kurios vamzdžio sienelės storis t_0 , plotis b_0 , g_i – tarpas tarp plastinių lankstų išilgine kryptimi, $g_i = \frac{1}{2} (b_0 - t_0 - b_1 - [2\sqrt{2a}])$, a – suvirinimo siūlės statinis.

Pilnai išpildytuose mazguose ($\beta = 1,0$) vertikali šlyjamosios jėgos dedamoji q_N gali būti nukrauta nuo silpniausiojo elemento: min{tinklelio elemento profiliuočio sienelės storis $t_i \sin \theta_i$, siūlės statinis,a, juostos profiliuočio (briaunos) sienelės storis t_{0w} }, kur θ_i – kampas tarp juostos ir tinklelio elemento. Kai mazgo elementų skaičiuojamieji plieno stipriai pagal takumo ribą nevienodi, aukščiau pateikti storiai turi būti padauginti iš atitinkamos skaičiuojamojo stiprio pagal takumo ribą reikšmės f_{ydi} :

$$q_{N}(\beta = 1.0) = \min\{t_{0w} \cdot f_{yd0}, a \cdot f_{yWd}, t_{i} \cdot f_{ydi} \cdot \sin\theta_{i}\}, \qquad (2.4)$$

Mazge skersine kryptimi atsivėrusių plastinių lankstų laikomoji galia yra pakoreguojama perskaičiuojant membraninius įtempius, Φ , įvertinant ašinius įtempius, f_0 , juostoje [16]:

$$q_{pm} = \left[1 - \left(f_0 / f_{y0}\right)^2\right] q_p = \Phi q_p,$$
(2.5)

Daroma prielaida, kad plastiniai lankstai atsiveria suvirinimo siūlių vietoje – vienas suvirinimo siūlės išorėje besiribojančioje su juostos sienele, kitas siūlės išorėje besiribojančioje su tinklelio elementų sumažėjimu, sąlygojamas siaurų tarpų laikomaja galia, sugretinant tinklelio elemento plonasienio profiliuočio sienelių storį su juostos sienelės storiu. Kadangi tolygiai išskirstyta šlytis q_p , turi būti perduota nuo vienos plokštelės ašies į kitos plokštelės ašį, yra galimybė, kad tinklelio elemento sienelės sumažėjusi lenkiamoji galia yra mažesnė nei reikalinga šlyties perdavimui nuo siūlės į tinklelio elemento sienelės ašinę liniją. Todėl išskirstyta šlyjamoji galia formulėje (2), q_p , turi būti papildomai koreguojama, atsižvelgiant į efektyviojo tarpo sumažėjimą. 12 paveiksle pavaizduoti du konkurencingi juostos plastifikacijos modeliai. Schema (a) – juostos plastifikacija išilginiame ruože, schema (b) – paviršiaus plastifikacija skersiniame tarpe tarp tinklelio elementų profiliuočių sienelių. Plastinių lankstų sistemos netobulumas tinklelio elementų vamzdžių kampuose priimamas, kaip šalutinis veiksnys skaičiuojant mazgo laikomąją galią.



5 pav. Konkurencingi plastinių lankstų sistemų modeliai

Įvertinus membraninių įtempių sumažėjimą tinklelio elemento ir juostos linkiuose ir sulyginus išorinių ir vidinių jėgų darbą (W_e, W_i) plastinių lankstų sistemos modelyje, šlyjamoji galia q_l , išilginio tarpo ruože, g_l , remiantis anksčiau užrašytomis išraiškomis gali būti išreikšta taip [16]:

$$\frac{q_l}{q_{p0}} = \frac{g_l}{t_0} \frac{3}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4}{3} \left(\frac{t_0}{g_l}\right)^2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{t_i}{t_0}\right)^2\right) - 1} \right] = \frac{t_0}{g_l} \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{t_i}{t_0}\right)^2\right), \quad (2.6)$$

Šlyjamoji galia K tipo mazgo tarpe tarp tinklelio elementu, g_0 , gali būti nustatyta analogišku būdu. Membraninių įtempių sumažėjimas, Φ , iš formulės (2.5) įtraukiamas į laikomosios galios skaičiavimą juostos sienelės linkio vietoje, tokiu būdu šlyjamoji galia, q_t , skersiniame ruože tarp tinklelio elementų profiliuočių sienelių gali būti užrašyta taip [16]:

$$\frac{q_t}{q_{p0}} = \frac{g_t}{t_0} \sin^2 \theta_i \frac{3}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4}{3} \left(\frac{t_0}{g_t}\right)^2 \left(\Phi + \left(\frac{t_i}{t_0}\right)^2\right) \frac{1}{\sin^2 \theta_i}} - 1 \right] = \frac{t_0}{g_t} \left(1 + \left(\frac{t_i}{t_0}\right)^2\right), \quad (2.7)$$

Jei išraiškos (2.6) ir (2.7) dešinioji pusė yra mažesnė nei išraiškos (2.2), tuomet efektyvusis tarpo sumažėjimas nuleme mazgo laikomąją galią.

Visa T tipo mazgo laikomoji galia, N_q , yra suma dviejų dydžių: briaunos laikomosios galios N_{kc} ir mažiausios iš išskirstytųjų laikomųjų galių reikšmių – min $\{q_p, q_l, q_N\}$ padaugintos iš viso takumo linijo ilgio $2l_l$ (arba dvigubo tinklelio elemento aukščio, h_i).

Visa K tipo mazgo laikomoji galia N_q yra trijų dydžių suma: pusės briaunos laikomosios galios, $\frac{1}{2}N_{kc}$; skersinio ruožo laikomosios galios,t.y. mažiausios iš išskirstytųjų laikomųjų galių reikšmių – min $\{q_p, q_t, q_N\}$ padaugintos iš skersinio takumo linijo ilgio, b_0 ; išilginių ruožų laikomosios galios, t.y. mažiausios iš išskirstytųjų laikomųjų galių reikšmių – min $\{q_p, q_t, q_N\}$ padaugintos iš viso klumpamojo ilgio $2l_l(=2h_i / \sin \theta_i + g_t)$. Vertikali įrąžos tinklelio elemente N_i

dedamoji, užrašoma atsižvelgiant į mazgo geometriją, padauginant iš $\sin \theta_i$, kur θ_i – posvyrio kampas tarp tinklelio elemento ir juostos.

2.1.2 Takumo linijos modelio taikymas skaičiavimo algoritmams, pateikiamiems projektavimo normose

Takumo linijos modelio taikymas skaičiavimo algoritmų pateikiamų [7] sudarymui pagrįstas lygybe tarp išorinių ir vidinių jėgų darbo. Vidinių jėgų darbas plastinių lankstų sistemoje, tai energija, sukaupta vykstant juostos plastifikacijai.

Pasinaudojant plokštelės modeliu, schematiškai deformavimosi pobūdį galimą būtų pavaizduoti taip:

1. Plokštelės deformacija yra inicijuojama lenkiamojo momento M:



6 pav. Plokštelės deformavimosi schema, veikiant lenkiamajam momentui M

2. Plokštelės deformavimo procesą išreiškia momento kitimo grafikas, *Prantlio diagramos* pavidalu :



7 pav. Deformacinė lenkiamojo momento kreivė

Diagramos ribojamą absoliučiai plastinę sritį galime traktuoti kaip plastinę energiją plokštelės linkio (takumo) linijoje ir lygią kreivės ribojamam plotui ABCD:

$$U = S_{ABCD} = \int M(\theta) d\theta \cong M_p \theta , \qquad (2.8)$$

3. Kai plastinės deformacijos pasiekia vidurinįjį sluoksnį (kuriame praeina plokštelės ašinės linijos), plokštelės laikomoji galia išsenka – plastinės deformacijos ima didėti nekliudomai ir neribotai, įtempiai visoje plokštelėje prilygsta ±f_y, o lenkimo momentas – savo ribinei reikšmei M_p, toje vietoje plokštelėje atsiveria plastinis lankstas.



8 pav. Takumo linijos sritis



9 pav. Itempių pasiskirstymas plokštelės storyje ribiniu atveju

4. Plastinį lenkiamąjį momentą tikslinga užrašyti paskirstytą plokštelės plotyje:



10 pav. Įrąžų pasiskirstymas plokštelės plotyje

$$m_p = F_p \cdot \frac{t}{2} = \frac{f_y t^2}{4} \Longrightarrow M_p = m_p \cdot w$$
(2.9)

čia: w – plokštelės plotis.

5. Pasinaudodami virtualaus darbo principu, kuris teigia, kad keleto veiksnių (apkrovų pokyčių) bendra pasekmė (įrąža, įtempis, deformacija, poslinkis ir kt.) yra lygi pasekmių, kurias sukelia kievienas atskiras veiksnys, sumai. Naudodamiesi šiuo principu galime

užrašyti pusiausvyros sąlygą tarp išorinių jėgų darbo esant poslinkiui Δ ir vidinių jėgų darbo esant kampiniam poslinkiu θ_i plokštelėje:

$$\sum P_i \Delta_i = \sum u_i \theta_i , \qquad (2.10)$$



11 pav. Takumo linijos teorijos interpretacija vienalytei plokštelei

Kadangi virtualaus darbo principas galioja kartu su poslinkių mažumo prielaida, kuri teigia, kad visų apkrauto kūno taškų poslinkiai yra tiek maži (palyginus su kūno matmenimis), kad rašydami statinės pusiausvyros sąlygas jų galime nepaisyti, t.y. tas sąlygas galime rašyti pagal nedeformuoto kūno geometriją, tada:

$$\theta_i = \frac{\Delta_i}{l} , \qquad (2.11)$$

Išnagrinėtą takumo linijos modelį plokštelei galime pritaikyti vamzdiniam skerspjūviui.



12 pav. Takumo linijos teorijos taikymas tuščiaviduriam profiliuočiui

Remiantis teoremomis:

- Didelių apribojimų teorema, kuri teigia, kad apkrova pasirinktame modelyje visada turi būti didesnė arba lygi tikrajai maksimaliai apkrovai;
- Mažų apribojimų teorema, kuri teigia, kad apkrova, kuri sukelia lenkiamąjį momentą, kuris yra pusiausvyros būsenoje ir niekuomet nepasieks ribinės reikšmės M_p yra mažesnė nei ribinė apkrova;

• Vientisumo teorema, kuri teigia, kad jei didelių ir mažų apribojimų teoremos pateikia tą patį atsakymą, vadinasi konstrukcinis elementas yra ribinėje stadijoje.

Irties modelis turi tenkinti šias stadijas:

- Pusiausvyros stadija: plastiniai lankstai tenkina statinės pusiausvyros sąlygas;
- Stabilumo stadija: ribiniu atveju susiformuoja reikiamas skaičius plastinių lankstų, kad būtų pažeista stabilumo sąlyga;
- Plastinė stadija: lenkiamojo momento reikšmė bet kuriame konstrukcijos taške negali pasiekti plastinės laikomosios galios.

Didelių apribojimų teorema apima pusiausvyros ir stabilumo stadijas. Mažų apribojimų teorema apima pusiausvyros ir plastinę stadijas.

Remiantis minėtomis teoremomis, išnagrinėkime Y tipo mazgo juostos paviršiaus (tariamos plokštelės) irties modelį (13 pav.).



13 pav. Mazgo Y juostos viršaus irties modelis (skaičiais 1–5 pažymėtos takumo linijos)

Taigi vidinis plastinių lankstų sistemos (ilgis l_i ir posūkio kampas φ_i) darbas pagal (2.9 ir 2.10) formules bus lygus takumo linijų energijai, užrašytai taip [22]:

$$E = \sum l_i \cdot \varphi_i \cdot m_p , \qquad (2.12)$$

Plokštumos posvyrio kampas φ_i remiantis poslinkių mažumo principu užrašomas pagal trikampio ABC geometriją (13 pav.), tada energiją kiekvienos iš penkių takumo linijų (13 pav.) galime užrašyti taip:

takumo linija-1:
$$2b_0 \frac{2\delta}{(b_0 - b_i)\cot\alpha} \cdot m_p = \frac{4\tan\alpha}{1 - \beta} \cdot \delta \cdot m_p$$
, (2.13)

takumo linija-2:
$$2b_i \frac{2\delta}{(b_0 - b_i)\cot\alpha} \cdot m_p = \frac{4b_i \tan\alpha}{b_0(1 - \beta)} = \frac{4\tan\alpha}{1 - \beta} \beta \cdot \delta \cdot m_p$$
, (2.14)

takumo linija-3:
$$2\left(\frac{h_i}{\sin\theta_i} + 2\frac{b_0 - b_i}{2}\cot\alpha\right)\frac{2\delta}{b_0 - b_i} \cdot m_p = \left(\frac{4\eta}{(1 - \beta)\sin\theta_i} + 4\cot\alpha\right) \cdot \delta \cdot m_p,$$
 (2.15)

čia: $\eta = \frac{h_i}{b_0}$ – tinklelio elemento skerspjūvio aukščio ir juostos skerspjūvio pločio santykis.

takumo linija-4:
$$2\frac{h_i}{\sin\theta_i} \cdot \frac{2\delta}{b_0 - b_i} \cdot m_p = \frac{4\eta}{(1 - \beta)\sin\theta_i} \cdot \delta \cdot m_p$$
, (2.16)

takumo linija-5:
$$4l_5 \left(\frac{\delta}{l_5 \cdot \tan \alpha} + \frac{\delta}{l_5 \cdot \cot \alpha} \right) \cdot m_p = 4 \left(\tan \alpha + \cot \alpha \right) \cdot \delta \cdot m_p,$$
 (2.17)

Žinodami, kad pagal (2.9) išraišką: $m_p = \frac{f_y t_o^2}{4}$, visa energija bus lygi:

$$E = \frac{8 \cdot m_p \cdot \delta}{(1-\beta)} \left(\tan \alpha + \frac{(1-\beta)}{\tan \alpha} + \frac{\eta}{\sin \theta_i} \right) = \frac{f_y t_0^2}{(1-\beta)} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_i} + \frac{2\tan \alpha + 2\frac{(1-\beta)}{\tan \alpha}}{\tan \alpha} \right) \cdot \delta, \qquad (2.18)$$

Pasinaudoję matematinėmis nelygybėmis pažymėtą išraiškos dalį galime užrašyti taip:

$$2\frac{\left(\tan^{2}\alpha + \sqrt{1-\beta}\right)}{\tan\alpha} \ge 2\left(\frac{2\tan\alpha \cdot \sqrt{1-\beta}}{\tan\alpha}\right) \cong 4\sqrt{1-\beta} , \qquad (2.18.1)$$

Iš pusiausvyros sąlygos:

$$\frac{N_{i,Ed}}{\sin\theta_i} \mathscr{I} = \frac{f_y t_0^2}{(1-\beta)} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta} \right) \mathscr{I} , \qquad (2.19)$$

Tuomet remiantis didelių apribojimų teorema, galime užrašyti mazgo laikomosios galios sąlygą:

$$\frac{N_{i,Ed}}{\sin \theta_i} \le N_{i,Rd} \Longrightarrow N_{i,Ed} \le N_{i,Rd} \cdot \sin \theta_i, \qquad (2.20)$$

Mazgo laikomoji galia iš (2.19 ir 2.20) formulių yra lygi:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right),$$
 (2.21)

Projektavimo normose gautoji išraiška padauginta iš funkcijos f(n), kuria įvertinamos, santvaros juostos įšrąžos, kadangi iki šiol buvo įvertinti tik juostos profiliuočio matmenys ir tinklelio elemento įrąža.

Funkcija f(n) lygi [6]:

$$f(n) = 1,3 - \frac{0,4\sigma_0}{f_{y0}\beta} \le 1.0, \qquad (2.22)$$

čia: σ_0 – didžiausi gniuždymo įtempiai juostoje, priklausantys nuo ašinių jėgų ir lenkiamojo momento; $n \equiv \frac{\sigma_0}{f_{y0}}$ – santykiniai įtempiai juostoje (2.9 pav.) [6]:

$$n = \left(\frac{N_{0,Ed}}{A_0 \cdot f_{yo}} + \frac{M_{0,Ed}}{W_0 \cdot f_{y0}}\right),$$
(2.23)

čia: A_0 – santvaros juostos elemento skerspjūvio plotas; $N_{0,Ed}$ – ašinė jėga juostoje; W_0 – juostos elemento atsparumo momentas; $M_{0,Ed}$ – lenkiamasis momentas juostoje.



Juostoje veikiančias įrąžas įvertinanti funkcija f(n), esant skirtingiems tinklelio elemento ir 14 pav. juostos pločių santykiams β

Kaip matyti iš 14 paveikslo funkcija f(n) tiesine priklausomybe įvertinamos juostos įrąžos. Did . . :....

Didėjant rodiklio
$$\beta$$
 reikšmei, mazgo irties pobūdis kinta, iš (2.21) išraiškos matyti, kad kai

$$\beta \to 1,0; N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}t_0^2}{[(1-\beta)\to 0]\sin\theta_i} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right)$$
 išraiška netenka prasmės, todėl priimama,

kad ji tikslinga, kai $\beta \le 0.85$.

2.2 Profiliuočio sienelės išsipūtimo arba vietinio klupumo irties modelis

T, Y, X mazguose kai rodiklid β kinta ribose $0.85 \le \beta \le 1.0$ irtis gali įvykti, tiek dėl juostos plastifikacijos, tiek ir dėl juostos sienelės klupumo.



15 pav. T, Y, X mazgo deformuota schema, kai rodiklis β kinta ribose $0.85 \le \beta \le 1.0$

Darome prielaidą, kad kai rodiklis β įgyja reikšmę – 1,0, mazgo irtis įvyks dėl juostos sienelės klupumo. Irties schema pateikiama 16 paveiksle.



16 pav. Juostos šoninės sienelės klupumo irties schema

16 paveiksle matome, kad įtempiai juostos paviršiuje pasiskirsto ilgyje $l = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5t_0$ tada mazgo laikomoji galia apskaičiuojama taip:

$$N_i = f_b \cdot t_0 \cdot 2l \cdot \frac{1}{\sin \theta_i} = f_b \cdot t_0 \cdot \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t_0\right) \frac{1}{\sin \theta_i}, \qquad (2.24)$$

čia: f_b – įtempiai juostoje, kadangi laikomosios galios reikšmė skaičiuojama ribiniu atveju, tai veikiant tempimo įrąžai $f_b = f_{y0}$,kai juostos elementas gniuždomasis įvertinama lokalinio išklupimo galimybė, todėl $f_b = \chi f_{y0}$ (T, Y tipo mazgams), $f_b = 0.8\chi(\sin\theta_i)f_{y0}$ (X tipo mazgams), kur χ – klupumo koeficientas, taigi f_b – kritiniai klupumo įtempiai, kurie yra juostos liaunio funkcija $f\left(\frac{h_0}{t_0}\right)$.

[7] pateikiama tokia klupumo koeficiento priklausomybė nuo elemento sąlyginio liaunio:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\overline{\lambda})^2}}, \qquad (2.25)$$

čia: ϕ , kvadratinė sąlyginio liaunio funkcija:

$$\phi = 0, 5 \cdot \left[1 + \alpha \left(\overline{\lambda} - 0.2 \right) + \left(\overline{\lambda} \right)^2 \right], \qquad (2.26)$$

Kur α – pataisos koeficientas, priklausantis nuo klupumo kreivės [7].

Tada sąlyginio liaunio išraišką galima užrašyti pasinaudojus tokiu algortmu:

Juostos sienelėje išskiriamas elementas (16 pav.), priimamas kaip strypas įtvirtintas dvipusiu lankstu, tada galime pasinaudoti *Oilerio formule* kritinės jėgos reikšmei nustatyti:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\left(\mu L_{cr}\right)^2},$$
 (2.27)

čia: μ – srypo galų įtvirtinimo sąlygų koeficientas, abipusio lankstinio įtvirtinimo atveju μ = 1,0; E – elemento medžiagos tamprumo modulis; L_{cr} – kritinis elemento ilgis.

Kritinį įtempį galime išreikšti strypinio elemento kritinės jėgos ir skerspjūvio ploto santykiu. Kai galioja *Oilerio formulė* (2.27), šis įtempis (pasinaudojus inercijos momento išraiška $I = A \cdot i^2$) bus lygus:

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A(\mu L_{cr})^2} = \frac{\pi^2 E \cdot \hat{A} \cdot i^2}{\hat{A}(\mu L_{cr})^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu L_{cr}}{i}\right)^2},$$
(2.28)

Įvedame strypo rodiklį – liaunį:

$$\lambda = \frac{\mu L_{cr}}{i}, \qquad (2.29)$$

Į (2.28) išraišką įstatę išraišką (2.27) gauname kritinio įtempio šraišką, priklausančią nuo liaunio:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{\lambda^2},\tag{2.30}$$

Oilerio formulė galioja tik proporcingo deformavimo atveju: ji išvesta, remiantis proporcingo (tampraus) deformavimo įlinkių kreivės lygtimi su proporcingumo koeficientu iš *Huko dėsnio –* tamprumo moduliu E. Kol galioja *Huko dėsnis* tol galioja ir *Oilerio formulė* kritinei jėgai skaičiuoti. Taigi, *Oilerio formulė* galioja tol, kol kritinis įtempis neviršija takumo ribos įtempio:

$$\sigma_{cr} \le f_{y} \,, \tag{2.31}$$

Dabar galime apibrėžti strypus, kurių kritinę jėgą leistina skaičiuoti Oilerio formule, į (2.31) sąlygą įrašę (2.30) reikšmę :

$$\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \le f_y \Longrightarrow \lambda \ge \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \equiv \overline{\lambda}$$
(2.32)

Tampraus strypo sąlyginis liaunis $\overline{\lambda}$ priklauso tik nuos strypo medžiagos savybių:

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \qquad (2.33)$$

Pasinaudoję anksčiau išvestomis priklausomybėmis sąlyginio liaunio išraišką pritaikykim nagrinėjamam elementui:

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \equiv \sqrt{\frac{f_{y0}}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{Af_{y0}}{F_{cr}} \cdot \sin \theta_i}} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_{y0}}{E(\sin \theta_i)}}, \qquad (2.34)$$

Elemento kritinis ilgis bus lygus:

$$L_{cr} = h_0 - 2t_0 \,, \tag{2.35}$$

Inercijos spindulio išraiška nagrinėjamam elementui (elemento inercijos momentui išreikšti išskiriamas jo ploto elementas, kurio padėtis (atstumas nuo x ašies) yra y, o matmenys dy ir *db*):

$$i = \sqrt{I/A} = \sqrt{\left[\int_{A} y^2 dA = \int_{-t_0/2}^{t_0/2} db \cdot y dy\right]} / dbt_0 = \frac{1}{\sqrt{12}} t_0 = \frac{1}{3,46} t_0, \qquad (2.36)$$

Tada sąlyginio liaunio išraiška gaunama (2.35) ir (2.36) sąlygas įrašius į (2.34):

$$\overline{\lambda} = \frac{(h_0 - 2t_0)}{\pi \cdot \frac{1}{3,46} t_0} \sqrt{\frac{f_{yo}}{E(\sin\theta_i)}} = 3,46 \left(\frac{h_0}{t_0} - 2\right) \sqrt{\frac{f_{yo}}{E(\sin\theta_i)}} \frac{1}{\pi},$$
(2.37)

2.3 Juostos išplėšiamosios šlyties modelis

Šis modelis skirtas mazgo elementų elgsenai aprašyti, kai tinklelio elemente veikia tempimo įrąža, o santvaros juostoje sąlygojami tangentiniai įtempiai – grynoji šlytis. Ribinėje būsenoje pasireiškia juostos irtis – išplėšimas.



17 pav. Juostos išplėšiamosios irties modelis

Pasinaudojant išraiška (2.1) galime užrašyti išskirstytą šlyjamają galią juostos paviršiuje (storyje t_0):

$$q_{yl} = \frac{f_{y0}t_0}{\sqrt{3}}$$

Tada iš 17 paveikslo, matome kad ilgis kuriame pasireiškia šlytis gali būti užrašytas remiantis mazgo matmenimis [22]:

$$l = 2\frac{h_i}{\sin\theta_i} + 2b_{ep}, \qquad (2.38)$$

Iš mazgo laikomosios galios sąlygos (2.20) mazgo laikomoji galia:

$$N_i \sin \theta_i = q_{ly} l \Longrightarrow N_i = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 2b_{ep} \right) \frac{1}{\sin \theta_i}, \qquad (2.39)$$

Įvertinus standumo kitimą tuščiavidurio profiliuočio perimetre, visas perimetras negali būti priimamas absoliučiai efektyviu. Efektyviojo išplėšiamosios šlyties pločio reikšmė b_{ep} buvo nustatyta ekperimentų metu ir yra lygi:

$$b_{ep} = \frac{10t_0 \cdot b_i}{b_0} \le b_i \Longrightarrow b_{ep} = 10t_0 \cdot \beta, \qquad (2.40)$$

2.4 Tinklelio elemento efektyviojo pločio modelis

Anksčiau aprašytas išplėšiamosios šlyties modelis gali būti priskiriamas mazgams su plonasieniais tinklelio elemento profiliuočiais; mazgams, kuriuose tinklelio elemento vamzdžio sienelė traktuojama, kaip sąlyginai stora, tinklelio elemento efektyvusis plotis gali tapti kritiniu. Mazgo laikomosios galios išraiška gali būti nustatoma pasinaudojant išplėšiamosios šlyties analitiniu modeliu, tik jis turi būti paremtas tinklelio elemento matmenimis ir medžiagos savybėmis.



18 pav. Tinklelio elemento irties sumažėjus efektyviajam pločiui modelis

Ilgis, kuriame gali pasireikšti takumo įtempiai bus lygus (2.13 pav.) [22]:

$$l = h_i - 2t_i + b_{eff} , (2.41)$$

Tada mazgo laikomosios galios sąlyga bus:

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot 2l = f_{yi} \cdot t_i \left(2h_i - 4t_i + 2b_{eff} \right), \tag{2.42}$$

Efektyviojo pločio išraiška gauta eksperimentų metu ir yra lygi:

$$b_{eff} = \frac{10t_0^2 \cdot b_i \cdot f_{y0}}{b_0 \cdot t_i \cdot f_{yi}} \le b_i, \qquad (2.43)$$

Kaip matome tinklelio elemento efektyviojo pločio išraišką galima gauti koreguojant pagal juostos profiliuočio matmenis ir medžiagos rodiklius, kadangi šis modelis taikomas tuomet, kai įtempiai tinklelio elemente sąlygoja mazgo irtį:

$$A_{0,eff}f_{y0} \le A_{i,eff}f_{yi} \Longrightarrow b_{ep}t_0 \cdot f_{y0} \le b_{eff} \cdot t_i \cdot f_{yi} \Longrightarrow b_{eff} = \frac{b_{ep} \cdot t_0 \cdot f_{y0}}{t_i \cdot f_{yi}},$$
(2.44)

čia: $A_{0,eff}$ – efektyvusis juostos vamzdžio plotas; f_{y0} – ribiniai plieno takumo įtempiai juostoje; $A_{i,eff}$ – efektyvusis tinklelio elemento vamzdžio plotas; f_{yi} – ribiniai plieno takumo įtempiai tinklelio elemente.

Išraiška (2.44) yra tapati išraiškai (2.43).

2.5 Juostos šlyjamosios irties modelis

Juostos šlyjamoji galia gali būti nustatyta analitiniu būdu, pasinaudojant plastinės analizės pagrindinėmis formulėmis.

Šlyjamosios galios reikšmė apskaičiuojama iš sąlygos [22]:



19 pav. Juostos šlyjamosios irties modelis

Plotas juostos šininėje sienelėje, kuriame pasireškia šlytis:

$$A_{v} = 2h_{0}t_{0}$$
 (2.46)

T, X, Y tipo mazgams laikomosios galios reikšmė bus lygi:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{yo}A_v}{\sqrt{3}\sin\theta_i},\tag{2.47}$$

N ir K tipo mazgams sąlyga (2.46), papildoma, pasinaudojant mažų tarpų analize, juostos profiliuočio viršutinės juostos dalimi, išnaudojama efektyviam šlyties perdavimui [22]:

$$A_{v} = (2h_{0} + \alpha b_{0})t_{0}$$
(2.48)

čia: $\alpha = f(g / t_0)$ funkcija [6]:

$$a = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}},$$
 (2.49)

Skaičiuojant K ir N tipo mazgus su tarpu tarp tinklelio elementų papildomai tikrinama laikomoji galia tarpo zonoje:

$$N_{0,gap,Sd} \le (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Sd}}{V_{pl}}\right)^2} , \qquad (2.50)$$

Likusioji skerspjūvio dalis perima ašinius įtempius, sąlygoje (2.50) pirmasis sumos narys, antrasis narys įvertina juostos plastinės laikomosios galios sumažėjimą dėl skersinės jėgos. Paprastai šios sąveikos skaičiavimams gali būti naudojamas *Von–Mizeso kriterijus*.

3. SANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PROJEKTAVIMAS

Kaip jau išsiaiškinome, šiuo metu projektavimo normose pateikiamos formulės mazgų laikomajai galiai nustatyti yra pusiau empirinės. Tai reiškia, kad svarbiausieji rodikliai buvo nustatyti remiantis supaprastintais analitiniais modeliais, o galutinė formuluotė gauta įvertinus papildomas kostantas, gautas atlikus daugkartinių bandymų statistinę analizę. Dėl galimų skirtingų mazgo irties pobūdžių ir jų kombinacijų, laikomoji galia skaičiuojama su tam tikra atsarga, įvedant atsargos koeficientus (γ).

3.1 Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų konstrukcinių elementų projektavimas pagal EN 1993–1–1

Tam, kad gerai perprastume mazgo elgseną, pirmiausia reikia gerai žinoti jo sudėtinių elementų, kaip pavienių konstrukcijų elgseną. Nagrinėjamus santvarų virintinius mazgus sudaro šie konstrukciniai elementai:

- santvaros juosta, veikiama ašinės jėgos ir lenkiamojo momento;
- santvaros tinklelio elementai, veikiami tik ašinės jėgos.

EC3 normose pateikiami net keli projektavimo variantai konstrukciniams elementams, suskirstant juos į klases.

3.1.1 Skerspjūvių klasifikacija

Skerspjūvių klasifikacija atliekama tam, kad nustatytume skerspjūvio laikomosios ir sukamosios galios reikšmę, lygią jo lokalinei klumpamajai galiai.

EC3 normose skerspjūviai skirstomi į keturias klases. Konstrukciją (nagrinėjamuoju atveju mazgą) gali sudaryti skirtingų skerspjūvių klasių elementai. To paties profiliuočio elementai (juostos ir sienelės) taip pat gali priklausyti skirtingoms skerspjūvių klasėms. Skerspjūvio klasė yra nustatoma įvertinant elemento liaunį ir įtempių būvį. Pavienio vamzdinio profiliuočio skerspjūvio klasės skiriamos įvertinant lenkiamuosius arba/ir gniuždomuosius elementus.

1 klasė: Skerspjūviai, kuriuose gali susiformuoti plastinis lankstas, esant sukamajai galiai, reikalingai atlikti plastinę analizę, nesumažėjant laikomajai gliai.

2 klasė: Skerspjūviai, kuriuose gali būti pasiekta ribinė lenkiamojo momento reikšmė (plastinis lenkimo momentas (plastinio lanksto foramvimosi pradžia), tačiau sukamoji galia nepakankama dėl galimo vietinio klupumo.

3 klasė: Skerspjūviai, kuriuose lenkiamasis momentas kraštiniuose sluoksniuose gali pasiekti vardinę plieno stiprio pagal takumo ribą reikšmę, tačiau vietinis klupumas gali sąlygoti plastinės lenkiamosios galios sumažėjimą.

4 klasė: Skerspjūviai, kuriuose taikomi papildomi reikalavimai vietiniam klupumui, skaičiuojant lenkiamąją arba gniuždomąją galią, t.y. skerspjūviai su klumpamąja dalimi.

Bendra konstrukcinio elemento klasė nustatoma pagal struktūrinio gniuždomojo elemento aukščiausią vertę. Skerspjūvio klasė priklauso nuo gniuždomosios dalies pločio ir storio santykio (3.2 lentelė).

Elementą veikiančių apkrovų ir laikomosios galios reikšmės visuomet gali būti skaičiuojamos taikant tamprumo teoriją, tačiau reikia papildomai įvertinti vietinio klupumo galimybę. Plastinė teorija taikoma nustatant 1 klasės elementų apkrovas bei 1 ir 2 klasių elementų laikomosios galios reikšmes. Tam, kad palengvintume skerspjūvio skaičiavimus, apkrovų reikšmes galima nustatyti pagal metodą priskiriamą jo aukščiausios klasės elementui.

Konstrukcinių gniuždomųjų ir lenkiamųjų elementų, priskiriamų 4 klasei, tikrinimo uždaviniai remiasi efektyviojo skerspjūvio ploto sąvoka. Tokių elementų laikomoji galia nustatoma įvertinant tik efektyvųjį skerspjūvio plotą.

Skerspjūvio laikomosios galios skaičiavimą pagal plastinės analizės principus galima atlikti tuomet, kai skerpjūvio elemento, kuriame susidaro plastinis lankstas, sukamosios galios reikšmė ne mažesnė nei reikalinga plastinio lanksto vietoje.

Vienalyčiame elemente sukamoji galia plastinio lanksto vietoje bus pakankama, jei plastinio lanksto vietoje elementas tenkina 1 klasės reikalavimus.

Plastinė analizė gali būti atliekama tuo atveju kai įvertinamas tikrasis įtempių ir deformacijų pasiskirtymas skerspjūvyje įtraukiant bendrą galimo vietinio ir bendrojo elemento klupumo poveikį. 3.1 lentelė. Analitiniai metodai pagal skerspjūvių klases

Skerspjūvio klasė	Laikomosio galios nustatymo metodas	Poveikių (apkrovų) nustatymo metodas	Įtempimų pasiskirstymas ribiniu atveju
1 klasė	Plastinė analizė	Plastinė analizė	fy
2 klasė	Plastinė analizė	Plastinė analizė	fy t
3 klasė	Tamprioji analizė	Tamprioji analizė	fy
4 klasė	Analizė įevrtinant efektyvųjį skerspjūvio plotą	Tamprioji analizė	fy 0,5beff

3.2 lentelė. Skerspjūvio klasės nustatymas

b)			Skersp	jūvio kl	asė									
				1			2			3					
Įtempių būvis	Poveikis	Skerspjūvio	f_y	235	275	355	460	235	275	355	460	235	275	355	460
		elementas	$\frac{N}{mm^2}$												
	Gniuždymas	Juosta	b/t	36,0	33,3	29,3	25,3	41,0	37,9	33,4	29,3	45,0	41,6	36,6	32,2
	Lenkimas	Sienelė	h/t	75,0	69,3	61,1	53,6	86,0	79,5	70,0	61,5	127,0	117,3	103,3	90,8

Čia: f_v – plieno stipris pagal takumo ribą.

Ribines reikšmes plienui, kurios nepateiktos lentelėje galima nustatyti stulpelio 235 N/mm² reikšmes dauginant iš pataisos koeficiento ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \; .$$

Skerspjūvio klasė lenkiamajai ir gniuždymajai tuščiavidurio profiliuočio sienelei gali būti nustatoma remiantis [6] reikalavimais, nustatant gniuždomosios sienelės skerspjūvio klasę su tam tikra atsarga.

3.1.1.1 Efektyviojo skerspjūvio nustatymas

Pločio pataisos koeficientas ρ 4 klasės kvadratinių vamzdžių skerspjūviams nustatomas remiantis [6] reikalavimais:

$$\rho = 1, \text{ kai } \overline{\lambda}_p \le 0,673, \qquad (3.1)$$

$$\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0.22}{\overline{\lambda}_p^2}, \text{ kai } \overline{\lambda}_p > 0.673, \qquad (3.2)$$

Sąlyginis liaunis lenkiamajai 4 klasės profiliuočio sienelei skaičiuojamas remiantis reikalavimais pateikiamais [6]. Sąlyginio liaunio reikšmė gniuždomajai sienelei arba juostai gali būti apskaičiuojama pagal sąlygą [5]:

$$\bar{\lambda}_{p} = \sqrt{\frac{f_{y}}{\sigma_{cr}}} = \frac{\frac{b_{1}}{t}}{56.8 \cdot \varepsilon}, \qquad (3.3)$$

čia: t – vamzdžio sienelės storis; σ_{cr} – klumpamasis įtempis; $b_1 = b - 3t$; juostos/ sienelės skaičiuojamsis plotis/aukštis; ε – redukcijos koeficientas, $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$; f_y – vardinė plieno stiprio

reikšmė pagal takumo ribą.

3.3 lentelė. Efektyvusis plotis b_{eff} 4 klasės plokščiuose gniuždomuose kvadratinio vamzdžio elementuose [5]

Įtempių pasiskirstymas (gniuždymas)	Efektyvusis plotis b_{eff}			
$+\sigma$ $+\sigma$ $+\sigma$ $+\sigma$ b_{1} b_{2}	$b_{eff} = \rho b_1$ $b_{e1} = 0,5b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5beff$			

3.1.2 Ašinės jėgos veikiami elementai

Skaičiuojant tempiamąjį elementą, į liaunį visiškai neatsižvelgiama. Tempiamieji vamzdžiai gali būti efektyviau išnaudojami nei atitinkami kiti profiliuočiai, kadangi tokių vamzdžių jungtys yra paprastesnės ir stipresnės. Tikrinant tempiamojo vamzdžio stiprį, turi būti tenkinama sąlyga [6]:

$$N_{Sd} \le N_{t,Rd} , \qquad (3.4)$$

čia: N_{Sd} – skaičiuotinė tempimo ašinės jėgos reikšmė; $N_{t,Rd}$ – tempiamojo elemento ašinės laikomosios galios skaičiuotinė reikšmė.

Skaičiuotinė tempiamojo elemento laikomosios galios reikšmė yra mažesnioji iš šių reikšmių [6]:
$$N_{t,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}},\tag{3.5}$$

$$N_{t,Rd} = 0.9A_{net} \frac{f_u}{\gamma_{M2}},$$
 (3.6)

čia: A_{net} – grynasis (neto) skerspjūvio plotas (gaunamas iš bendro skerspjūvio ploto atmetus skylių skerspjūvio plotus); f_u – vardinis plieno stipris pagal stiprumo ribą.

Vertinant konstrukcijos pasiduodamumą, turi būti tikrinama sąlyga [6]:

$$0.9 \frac{A_{net}}{A} \ge \frac{f_y}{f_u} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}, \qquad (3.7)$$

Sąlyga (3.6) taikoma jungčių skaičiavimams.

Tikrinant gniuždomojo vamzdžio laikomaja galią, turi būti tenkinama sąlyga [6]:

$$N_{Ed} \le N_{c,Rd} , \qquad (3.8)$$

čia: N_{Ed} – skaičiuotinė gniuždymo ašinės jėgos reikšmė; $N_{c,Rd}$ – gniuždomojo elemento laikomosios galios skaičiuotinė reikšmė, nustatoma pagal skerspjūvio klases:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, 1, 2 \text{ ir } 3 \text{ klasės skerspjūviams},$$
(3.9)

$$N_{c,Rd} = A_{eff} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, 4 \text{ klasės skerspjūviams},$$
 (3.10)

čia: A_{eff} – efektyvus skerspjūvio plotas, veikiant ašinei gniuždymo jėgai.

3.1.3 Ašinės jėgos ir lenkiamojo momento veikiami elementai

Tuščiavidurio profiliuočio gniuždomosios ir lenkiamosios sienelės klasė priklauso nuo įtempių pasiskirstymo. Praktiškai skerspjūvio klasę nustatyti yra paprasčiau pagal gniuždomuosius elementus (sienelę arba juostą).

Konstrukciniai elementai iš vamzdžių veikiami ašinės gniuždymo jėgos ir lenkiamojo momento turi tenkinti poveikių sąveikos sąlygą [6]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{k_z \cdot M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \le 1,$$
(3.11)

Kvadratiniams vamzdžiams sąlygą (3.11) galime supaprastinti ir užrašyti taip:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{k \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} \le 1,$$
(3.11.1)

čia: $N_{b,Rd}$ – klumpamosios galios reikšmė, nustatoma iš sąlygos [6]:

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot \beta_A \cdot A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \qquad (3.12)$$

čia: pataisos koeficientas $\beta_A = \frac{A_{eff}}{A} - 4$ klasės skerspjūviams; 1,2,3 klasės skerspjūviams $\beta_A = 1,0$; χ_{min} – mažiausia klupumo koeficiento reikšmė (apie y (plokštumoje) arba z (iš plokštumos) ašis. Klupumo koeficiento ir sąlyginio liaunio priklausomybė aprašoma klupumo kreive.



20 pav. Europinės klupumo kreivės

Karštai valcuotų vamzdžių klupumas charakterizuojamas kreive "a" (S 460 klasės plienui "a₀"), šaltai formuotų vamzdžių – kreive "c".

Kadangi kvadratiniai vamzdžiai yra simetrinio skerspjūvio, tai jų nagrinėjimas plokštumoje ir iš plokštumos supaprastėja. Skaičiuojama viena klupumo koeficiento reikšmė pagal sąlygą [6]:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \le 1, 0, \qquad (3.13)$$

čia: ϕ – sąlyginio liaunio kvadratinė funkcija [6]:

$$\phi = 0, 5 \left[1 + \alpha \left(\overline{\lambda} - 0, 2 \right) + \left(\overline{\lambda} \right)^2 \right], \qquad (3.14)$$



21 pav. funkcija ϕ

Skerspjūvių klupumo kreivės yra koreguojamos įvedant netobulumo pataisos koeficientą α .

Klupumo kreivė	a ₀	a	с
Netobulumų pataisos	0.13	0.21	0.49
koeficientas			

3.4 lentelė. Netobulumo pataisos koeficientai kvadratinių vamzdžių klupumo kreivėms

Skaičiuotinės lenkiamosios galios reikšmės nustatomos iš sąlygų:

$$M_{Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, 1 \text{ ir } 2 \text{ klasių skerspjūviams}$$
 (3.15)

$$M_{Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$
, 3 klasės skerspjūviams (3.16)

$$M_{Rd} = W_{eff} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$
, 4 klasės skerspjūviams (3.17)

Koeficinetas k sąlygoje (3.11.1) nustatomas taip [5]:

$$k = 1 - \frac{\mu \cdot N_{Sd}}{\chi \cdot A \cdot f_y}, \qquad (3.18)$$

čia: χ – klupumo koeficientas; μ – apkrovos redukcijos koeficientas, apskaičiuojamas:

$$\mu = \lambda \left(2\beta_M - 4 \right) + \frac{W_{pl} - W_y}{W_y} \le 0.9, 1 \text{ ir } 2 \text{ klasių skerspjūviams}$$
(3.19)

$$\mu = \lambda (2\beta_M - 4) \le 0.9, 3 \text{ ir } 4 \text{ klasių skerspjūviams}$$
(3.20)

 β_M – ekvivalentinis momento tolygumo koeficientas, kuris priklauso nuo lenkiamojo momento diagramos formos (3.1.4 lentelė).

3.5 lentelė.	Lenkiamojo momento	diagramos forme	os koeficientas	β_M [7]
--------------	--------------------	-----------------	-----------------	---------------

Apkrovimo schema	Lenkiamojo momento diagrama	Ekvivalentinis momento tolygumo koeficientas
Lenkimo momentas veikiantis elemento galuose		$\beta_{M,\psi} = 1, 8 - 0, 7\psi$ $-1 \le \psi \le 1$
Tolygiai išskirstyta apkrova visame elemnto ilgyje	Mq	$\beta_{MQ} = 1,3$
Sutelkta apkrova veikianti elemento viduryje	Mq	$\beta_{MQ} = 1,4$



3.2 Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų konstrukcinių elementų projektavimas pagal STR 2.05.08:2005

Kitaip nei pagal EC3 reikalavimus STR 2.05.08 nerasite skerspjūvių klasių – skerspjūvių veikiančiųjų rodiklių reikšmės nustatomos pagal takumo ribą. Skaičiavimai žinoma supaprastėja, bet sumažėja tikslumas.

3.2.1 Ašinės jėgos veikiami elementai

Tinklelio elementai projektuojami, tik kaip ašinę jėgą perimantys elementai, nevertinant nykstamai mažų lokalinių lenkiamojo momento įrąžų juose.

Tikrinant tempiamojo ar gniuždomojo elemento skerspjūvio laikomąją galią, turi būti tenkinama sąlyga [20]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \le 1,0,$$
 (3.21)

čia: N_{Ed} – skaičiuotinė ašinės jęgos reikšmė; $N_{pl,Rd}$ – skaičiuotinė ašinės jėgos veikiamo skerspjūvio laikomosios galios reikšmė apskaičiuojama taip [20]:

$$N_{pl,Rd} = A_{net} f_{y,d} \gamma_c , \qquad (3.22)$$

čia: A_{net} – grynasis (neto) skerspjūvio plotas, $f_{y,d}$ – skaičiuotinis plieno stipris pagal takumo ribą.

3.2.2 Ašinės jėgos ir lenkiamojo momento veikiami elementai

Santvaros juosta priimama kaip ašinės jėgos ir lenkiamojo momento veikiamas elementas. Parenkant santvaros juostos skerspjūvį sprendžiamas pastovumo tikrinimo uždavinys.

Gniuždomųjų lenkiamųjų elementų, pastovumas momento veikimo plokštumoje, sutampančioje su simetrijos plokštuma, tikrinamas pagal formulę [20]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{NM,c,Rd}} \le 1,0$$
, (3.23)

čia: $N_{NM,c,Rd}$ – skaičiuotinė gniuždomo – lenkiamo elemento laikomoji galia lenkimo plokštumoje apskaičiuojama pagal formulę [20]:

$$N_{NM,c,Rd} = \varphi_e A f_{y,d} \gamma_c , \qquad (3.24)$$

čia: φ_e – gniuždomojo lenkiamojo elemento klupumo koeficientas nustatomas pagal [20], A priedo, A.2 lentelę, atsižvelgiant į santykinį lyginamąjį ekscentricitetą $e_{rel,eff}$, kuris nustatomas pagal formulę [20]:

$$e_{rel,eff} = k_{shape} e_{rel}, \qquad (3.25)$$

čia: k_{shape} – skerspjūvio formos koeficientas, kvadratiniam skerspjūviui, 1,0. Tokiu būdu yra įvertinamas lenkimo momentas, veikiantis santvaros juostoje; $e_{rel} = \frac{eA}{W_e}$ – santykinis ekscentricitetas

(čia: $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ – ekscentricitetas; W_c – atsparumo momentas labiausiai gniuždomojo krašto atžvilgiu).

4. SANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ SKAIČIUOTINĖS AŠINĖS LAIKOMOSIOS GALIOS NUSTATYMAS

4.1 Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios nustatymas pagl EN 1993–1–8

4.1.1 Elementų jungimas mazge

Paprasčiausia projektuoti mazgus, kai tinklelio elementų skerspjūvių ir juostos skerspjūvio ašys kertasi viename taške, t.y. elementai mazge jungiami centriškai. Tačiau toks elementų jungimas labai apriboja jų skerspjūvių sortimentą, todėl EN 1993–1–8 normose pateikiami reiklavimai ekscentriškai jungiamų elementų mazgams.

Ekscentriciteto reikšmė teigiama, kai tinklelio elementų neutraliosios ašys kertasi žemiau juostos neutraliosios ašies, o neigiama, kai tinklelio elementų neutraliosios ašys kertasi virš juostos neutraliosios ašies.

Ekscentriciteto ir tarpo tarp tinklelio elementų reikšmes galima apskaičiuoti iš sąlygų (4.1) ir (4.2) [5]:

$$e = \left(\frac{h_1}{2\sin\theta_1} + \frac{h_2}{2\sin\theta_2} + g\right) \frac{\sin\theta_1\sin\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{h_0}{2}, \qquad (4.1)$$

$$g = \left(e + \frac{h_0}{2}\right) \frac{\sin\left(\theta_1 + \theta_2\right)}{\sin\theta_1 \sin\theta_1} - \frac{h_1}{2\sin\theta_1} - \frac{h_2}{2\sin\theta_2},$$
(4.2)

čia: θ_i – tinklelio elemento posvyrio kampas; h_i – tinklelio elemento skerspjūvio aukštis; h_0 – juostos elemento skerspjūvio aukštis.

Skaičiuotinės tinklelio elementų ir juostų ašinės jėgos neturi viršyti skaičiuotinės elementų laikomosios galios, nustatytos pagal [7] (žr. 3.1). Kadangi mazgai dažniausiai priimami tariamai lankstiniai, tinklelio elementų skaičiuotinė laikomoji galia skaičiuojama tik ašinių jėgų poveikiui. Skaičiuojant mazgo laikomąją galią lenkiamojo momento poveikio vertinti nereikia, kai tenkinama sąlyga:

$$-0.55h_0 \le e \le 0.25h_0, \tag{4.3}$$

Kai ši sąlyga netenkinama turi būti įvertinami lenkiamieji momentai sukelti ekscentriško elementų jungimo mazge.

4.1.2 Bendrieji reikalavimai projektuojant mazgus ir jų tinkamumo ribos

Santvarų mazgai gali būti skirstomi į dvi pagrindines grupes: su tarpu ir su užlaida. Santvarų, kuriose tinklelio elementai jungiami su tarpu gamyba paprastesnė, kadangi tinklelio elementą galima iškarto nupjauti suprojektuotu kampu, su numatytomis paklaidų vertėmis. Santvarose, kuriose tinklelio elementai ir juostos projektuojami iš tokio paties skerspjūvio vamzdžių, sąlygojami dideli ekscentricitetai, kurie sukelia lenkiamuosius momentus juostoje. Tinklelio elementus jungiant su tarpu turi būti tikrinama šlyjamoji mazgo galia.

Santvarų, kuriose tinklelio elementai jungiami su užlaida gamyba sudėtingesnė, kadangi tinklelio elementą reikia pjauti dviem skirtingais kampais, paklaidų galimybė labiau apribota nei mazguose su tarpu. Kita vertus mazgo laikomoji galia yra didesnė ir galima išvengti ekscentriciteto pasirenkant reikiamą užlaidos plotį. Mazguose su užlaida turi būti gana didelė užlaida, kad tinklelio elementų jungtis būtų pakankama reikiamai šlyčiai iš vieno tinklelio elemento į kitą perduoti. Bet kuriuo atveju užlaida turi būti ne mažesnė kaip 25 % [7]. Jei persidengiantys tinklelio elementai yra skirtingo storio ir/arba stiprumo klasių, kitą elementą turi dengti mažiausios $t_i f_{yi}$ vertės elementas [7]. Jei persidengiantys tinklelio elementas turi dengti platesnyjį [7].

Mazge jungiamų elementų galai turi būti paruošti taip, kad jų skerspjūvio forma nebūtų pakitusi [5].

Mažiausias leistinas tinklelio elementų posvyrio kampas yra 30° [7]. Projektuojant santvarų mazgus smailų kampų vertėtų vengti, kadangi smailiojo kampo vietoje labai pasunkėja suvirinimo galimybė. Easnt smailiam tinklelio elemento posvyrio kampui net menkiausias įtrūkis vamzdžio paruošimo metu (pjaunant) gali peraugti į didelius plyšius mazge. Jei elementų jungimo mazge kampas θ_i mažesnis nei 60° tinklelio elemento galai turi būti nusklembti [5]. Norint užtikrinti, kad mazguose su tarpu jo pakanka tinkamoms virintinėms siūlėms sudaryti, tarpas tarp ramsčių

elementų turėtų būti ne mažesnis kaip $(t_1 + t_2)$ [7]. Kad būtų užtikrinta juostos laikomoji galia plastinių deformacijų atsiradimui turi būti tenkinama sąlygą [5] $g_a \ge 1.5t_0$ (g_a – tarpas tarp suvirinimo siūlių galų):



22 pav. Tinkamumo ribos tarpui tarp tinklelio elementų

Tarpas tarp suvirinimo siūlių galų gali būti apskaičiuojamas pagal sąlygą [5]:

$$g_a = g - 2L = g - \tan(90 - \theta_1)t_1 - \tan(90 - \theta_2)t_2, \qquad (4.4)$$

Elementų gniuždomosios dalys turi tenkinti 1 arba 2 klasių reikalavimus (žr. 3.1.1) pagal grynojo lenkimo sąlygas [7].

Jei mazgų geometrija atitinka 4.1 lentelėje nurodytas tinkamumo ribas, tinklelio ir juostos elementų iš tuščiavidurių profiliuočių virintinių tiesioginio jungimo mazgų skaičiuotinė laikomoji galia gali būti nustatoma taikant 4.3–4.5lentelių nuostatas.

Kai mazgai atitinka 4.1 lentelėje nurodytas tinkamumo ribas, reikia įvertinti tik atitinkamoje lentelėje nurodytus projektavimo kriterijus. Skaičiuotinė jungties laikomoji galia turi būti laikoma lygia mažiausiajai reikšmei pagal visus taikytinus kriterijus.

Kai mazgai neatitinka 4.1 lentelėje nurodytų tinkamumo ribų, mazgo laikomoji galia turi būti skaičiuojama, įvertinant visus minėtus irties pobūdžius (r. 2 pav.). Be to, reikia atsižvelgti į mazgų sukamojo standumo sukeliamus antrinius momentus.

Mazgo rodikliai $[i=1 \text{ arba } 2, j=uždengiamaisis tinklelio elementas]$					
Mazgo tipas	b_i	b_i / t_i		h/t	Tarpas arba
	b_0	Gniuždymas	Tempimas	$\mathcal{D}_0 \neq \mathcal{U}_0$	užlaida b_i / b_j
T, Y arba X	$\frac{b_i}{b_0} \ge 0,25$	h / t < 35	$b_i / t_i \le 35$	≤ 35 ir $\leq 41\sqrt{235 / f_{yi}}$	_
K su tarpu N su tarpu	$\frac{b_i}{b_0} \ge 0.35$ ir $\frac{b_i}{b_0} \ge 0.1 + 0.01 \frac{b_0}{t_0}$	$\frac{b_i + b_i \le 55}{\text{ir}} \le 41\sqrt{235 / f_{yi}}$		≤ 35 ir $\leq 41\sqrt{235 / f_{yi}}$	$g / b_0 \ge 0, 5(1 - \beta)$ Bet $\le 1, 5(1 - \beta)^{1}$ Ir ne mažesnis kaip: $g \ge t_1 + t_2$

4.1 lentelė. Juostos ir tinklelio elementų iš kvadratinių vamzdžių mazgų tinkamumo ribos [7]

K su užlaida N su užlaida	$\frac{b_i}{b_0} \ge 0,25$	$\leq 36\sqrt{235 / f_{yi}}$		$\leq 41\sqrt{235/f_{yi}}$	$\lambda_{ov} \ge 25\% \text{, bet}$ $\lambda_{ov} \le 100\%^{2} \text{ ir}$ $b_i / b_j \ge 0.75$
Jei g / b ₀	$> 1,5(1-\beta)$ ir g/b_0	$t_0 > t_1 + t_2$, mazgas	laikomas dviem	atskirais T arba Y	tipo mazgais.
Užlaida gali būti padidinama, kad uždengiamojo tinklelio elemento apatinė dalis galėtų būti privirinama					
prie juostos					

4.2 lentelė. Papildomos sąlygos algoritmų mazgų ašinės laikomosios galios nustatymui naudojimui [7]

Tinklelio elemnto tipas	Mazgo tipas	Mazgo rodikliai	
Kvadratinis vamzdis	T, Y arba X	$\beta \le 0.85$	$b_0 / t_0 \ge 10$
	K su tarpu arba N su tarpu	$0.6 \le \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \le 1.3$	$b_0 / t_0 \ge 15$

Kai mazgai tenkina 4.2 lentelėje nurodytas tinkamumo ribas, reikia įvertinti tik juostos viršaus irtį ir tinklelio elemento irtį dėl sumažėjusio efektyviojo pločio. Skaičiuotinė ašinė laikomoji galia turi būti laikoma lygia mažesniajai reikšmei pagal tuos abu kriterijus [7].

4.1.3 Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai

Kvadratinių vamzdžių virintinių mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios skaičiavimo algoritmus galima būtu suskirstyti į grupes pagal mazgo tipą:

- skaičiavimo algoritmai T, Y arba X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymui (4.3lentelė);
- skaičiavimo algoritmai K, N ir KT tipo mazgų su tarpu ašinės laikomosios galios nustatymui (4.4 lentelė);
- skaičiavimo algoritmai K, N ir KT tipo mazgų su užlaida ašinės laikomosios galios nustatymui (4.5 lentelė).

Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomoji galia
T,Y ir X mazgai	Juostos viršaus irtis $\beta \le 0.85$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_y \cdot t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right) k_n / \gamma_{M5}$
h _i	Juostos šoninės sienelės klupumas
N _i b _i	$\beta = 1.0^{1}$
θ_1	$N_{i,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t_0\right) / \gamma_{M5}$
	Tinklelio elemento irtis $\beta \ge 0.85$
44	

4.3 lentelė. T, Y arba X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [7]

$$N_{i,Rd} = f_y t_i \left(2h_i - 4t_i + 2b_{eff}\right) / \gamma_{M5}$$
Praspaudžiamoji/išplėšiamoji juostos irtis

$$0.85 \le \beta \le (1 - 1/\gamma)$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 2b_{e,p}\right) / \gamma_{M5}$$

čia: $\beta = \frac{b_i}{b_0}$ – tinklelio elemento ir juostos skerspjūvių pločių satykis; $\eta = \frac{h_i}{b_0} = \beta$ – tinklelio elemento skerspjūvio aukščio ir juostos skerspjūvio pločio santykis; $\gamma = 0,5b_0/t_0$ –rodiklis, priklausantis nuo juostos skerspjūvio pločio ir vamzdžio sienelės storio santykio; f_b – didžiausia klupumo įtempių reikšmė juostoje, kai juosta tempiama $f_b = f_{y0}$,kai juosta gniuždoma: $f_b = \chi f_{y0}$ (T ir Y mazgams); $f_b = 0.8\chi f_{y0} \sin \theta_i$ (X mazgams); χ – klupumo koeficientas (žr. 3.1.3), gaunamas pagal [6], taikant atitinkamą klupumo kreivę ir sąlyginį liaunį $\overline{\lambda}$, apskaičuojamą pagal (2.37) formulę; b_{eff} – efektyvusis tinklelio elemento plotis apskaičuojamas pagal (2.43) sąlygą; b_{ep} – juostos įrąžas įvertinančios funkcijos f(n) (žr. 2.1.1.2, 2.9 pav.):

kai n > 0 (gniuždymas) : $k_n = 1, 3 - \frac{0, 4n}{\beta} \le 1, 0$ (n - santykinius įtempius įvertinantis koeficientas, apskaičiuojamas pagal sąlygą 2.23; kai $n \le 0$ (tempimas) : $k_n = 1, 0$.

1) Kai $0,85 \le \beta \le 1,0$, taikoma tiesinė interpoliacija tarp juostos viršaus irties, su $\beta = 0,85$, vertės ir juostos šoninės sienelės irties, su $\beta = 1,0$ pagrindinės vertės.

$$N_{i,Rd(\beta=1)} + \left(N_{i,Rd(\beta=0.85)} - N_{i,Rd(\beta=1)}\right) (1-\beta) / \Delta\beta , \qquad (4.5)$$

4.4 lentelė. K su tarpu ir N su tarpu tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [7]

Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomoji galia
K ir N mazgai su tarpu	Juostos viršaus irtis
$\begin{array}{c} \mathbf{b}_{1} \\ \mathbf{b}_{1} \\ \mathbf{b}_{1} \\ \mathbf{b}_{1} \\ \mathbf{b}_{2} \\ \mathbf{b}$	$N_{i,Rd} = \frac{8.9f_y \cdot t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{\sum_{i=1}^m b_i + \sum_{i=1}^m h_i}{2m \cdot b_0} \right) k_n \sqrt{\gamma} / \gamma_{M5}$
$ \begin{array}{c} & & \\ & & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & $	Juostos šlyjamoji irtis
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}A_v}{\sqrt{3}\sin\theta_i} / \gamma_{M5};$
	$V_{pl,Rd} = \frac{f_{yo}A_{v}}{\sqrt{3}\gamma_{vo}};$

$$V_{Ed} = N_{i,Ed} \sin \theta_i;$$

Kai $V_{Ed} > 0.5 V_{pl Rd}$, skaičiuojame:

45

$$N_{0,Rd} = \left[\left(A_0 - A_v \right) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - \left(V_{Ed} / V_{pl,Rd} \right)^2} \right] / \gamma_{MS}$$

$$\frac{\text{Tinklelio elemento irtis}}{N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(2h_i - 4t_i + b_i + 2b_{eff} \right) / \gamma_{MS}}$$

$$\frac{Praspaudžiamoji/išplėšiamoji juostos irtis}{\beta \le \left(1 - 1 / \gamma \right)}$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + 2b_{ep} \right) / \gamma_{MS}$$

čia: $A_v -$ šlytį perimantis juostos skerspjūvio plotas $A_v = (2h_0 + \alpha \cdot b_0)t_0$; (žr. 2.5); $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$

funkcija $f\left(\frac{g}{t_0}\right)$ (žr.2.5).	
4.5 lentelė. K su užlaida ir N su užlaida tipo mazgų a	šinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [7]
Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomoji galia
K ir N mazgai su užlaida	Tinklelio elemento irtis $25\% \le \lambda_{ov} < 50\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi}t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} (2h_i - 4t_i) \right) / \gamma_{M5}$
N ₁ A	Tinklelio elemento irtis $50\% \le \lambda_{ov} < 80\%$
θι	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + (2h_i - 4t_i) \right) / \gamma_{M5}$
	Tinklelio elemento irtis $\lambda_{ov} \ge 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi}t_i(b_i + b_{e,ov} + (2h_i - 4t_i)) / \gamma_{M5}$

čia: rodiklis $b_{e,ov} = \frac{10f_{yj}t_j}{b_j / t_j f_{yi}t_i} b_i \le b_i$; mazgo rodikliai i = 1 arba 2, j - uždengiamasis tinklelio

elementas.

KT mazgai projektuojami pagal tas pačias sąlygas, kaip ir K tipo mazgai, tačiau papildomai turi būti užtikrinta, kad tinklelio elementų vertikalių įrąžų suma yra mažesnė nei mazgo ašinė galia. Juostos standumas vertikialia kryptimi yra nedidelis todel pateiktos sąlygos yra svarbios. Atitinkamiems įrąžų variantams pateikiamos sąlygos 4.6 ir 4.7:



23 pav. Galimi įražų pasiskirstymai mazge

$$a)N_{2,Rd}\sin\theta_2 \ge N_{1,Ed}\sin\theta_1 + N_{3,Ed}\sin\theta_3, \qquad (4.6)$$

$$b)N_{1,Rd}\sin\theta_1 \ge N_{2,Ed}\sin\theta_2 + N_{3,Ed}\sin\theta_3, \qquad (4.7)$$

4.2 Santvaros iš kvadratinių vamzdžių mazgų skaičiuotinės laikomosios galios nustatymas pagal STR 2.05.08:2005 (8 priedą)

4.2.1 Irties pobūdžiai ir mazgo laikomoji galia

Pagal STR 2.05.08:2005 8–ojo priedo reikomendacijas mazgų laikomąją galią nulemia tik dalis 2 skyriuje paminėtų irties pobūdžių:

A plastinė juostos irtis (žr. 4 pav.), ir tikrinama santvaros juostos profiliuočio juostos, besiliečiančios su tinklelio elementu, laikomoji galia praspaudimui (išplėšimui);

B Juostos vamzdžio sienelės išsipūtimas arba vietinis klupumas, tinklelio elemente veikiant gniuždymo įrąžai (žr. 4 pav.), ir tikrinamas juostos šoninės sienelės (lygiagrečios mazgo plokštumai) laikomoji galia gniuždomojo elemento prijungimo vietoje;

D Tempiamo tinklelio elemento nutraukimas (kai tinklelio elemento efektyvusis plotis yra pastebimai per mažas, tinklelio elemento profiliuotis nutraukiamas arba nutraukiama suvirinimo siūlė) (žr. 4 pav.), ir tikrinama:

- ✓ tinklelio elemento laikomoji galia jungimo prie juostos srityje;
- ✓ virintinių siūlių, jungiančių tinklelio elementą prie juostos, laikomoji galia.

4.2.2 Mazgų tipai ir jų žymenys

Santvarų iš kvadratinių vamzdžių pagrindiniai mazgų tipai, jų matmenų ir įrąžų žymenys pateikti 24–25 pav.



24 pav. K ir N tipo mazgų matmenų ir įrąžų žymenys



25 pav. T ir X mazgų matmenų ir įrąžų žymenys

K ir N tipo mazgams, kai $b_i / b_0 \le 0.9$ ir $g / c_i \le 0.25$, juostos praspaudžiamoji (išplėšiamoji) laikomoji galia tikrinama kiekvieno prijungiamojo elemento vietoje pagal (4.8) išraišką [19]:

$$N_{i,Rd} = \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (b+g+\sqrt{2b_0 a})}{(0,4+1,8g/c_{1(2)}) a \sin \theta_{1(2)}},$$
(4.8)

čia: $N_{1(2)}$ – ašinė jėga prijungiamajame elemente; $M_{1(2)}$ – lenkiamasisis momentas prijungiamajame elemente mazgo plokštumoje, sutampančiame su juostos lentyna pjūvyje (momento dėl mazgų standumo galima nevertinti); γ_c – darbo sąlygų koeficientas pagal [20] 4.1 lentelę; γ_1 – įrąžos ženklo prijungiamajame elemente įtakos koeficientas imamas lygus 1,2 tempiamajam elementui ir 1,0 – kitais atvejais; γ_0 – juostoje veikiančios ašinės jėgos įtakos koeficientas, nustatomas pagal (4.9) formulę, jei juosta gniuždoma ir $|N_0|/(A_0 f_{y,d}) > 0,5$. Kitais atvejais $\gamma_0 = 1,0$;

$$\gamma_0 = 1,5 - \left| N_{Ed,0} \right| / (A_0 f_{y,d}), \qquad (4.9)$$

 $N_{Ed,0}$ – ašinė jėga santvaros juostoje, veikianti tempiamojo tinklelio elemento pusėje; A_0 – santvaros juostos skerspjūvio plotas; $f_{y,d}$ – santvaros juostos plieno skaičiuojamasis stipris pagal takumo ribą; t_0 – santvaros juostos vamzdžio sienelės storis; $c_{1(2)}$ – prijungiamojo elemento ir juostos susikirtimo linijos ilgis juostos ašies kryptimi, lygus $h_{1(2)}/\sin\theta_{1(2)}$; g – pusė atstumo tarp tinklelio elementų; $a = (b_0 - b_{1(2)})/2$; $\theta_{1(2)}$ – tinklelio elemento prijungimo prie juostos kampas.

X ir T pavidalo mazguose (žr. 24 pav.), taip pat K ir N mazguose, kai $c/b_{I(2)} > 0,25$, juostos laikomoji praspaudimo galia skaičiuojama pagal formulę:

$$\left|N_{1(2)}\right| + \frac{1.7\left|M_{1(2)}\right|}{h_{1(2)}} \le \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (c + \sqrt{2b_0 a})}{a \sin \theta_{1(2)}},\tag{4.10}$$

Juostos sienelės laikomoji galia mazgo plokštumoje, gniuždomojo tinklelio elemento prijungimo vietoje, kai $b_{1(2)}/b_0 > 0.85$, tikrinamas pagal formulę:

$$N_{Ed,i} \le 2\gamma_c \gamma_l k f_{y,d} t_0 h_{l(2)} / \sin^2 \theta_i, \qquad (4.11)$$

čia: γ_t – koeficientas, įvertinantis juostos plonasieniškumą, kai $h_0/t_0 \ge 25$, imamas lygus 0,8, kitais atvejais 1,0; k – koeficientas, atsižvelgiant į juostos plonasieniškumą ir skaičiuotinį plieno stiprį pagal takumo ribą $f_{y,d}$, imamas pagal pateiktas tris sritis apibrėžiančias formules:

kai
$$\frac{h_0}{t_0} < 2,45 \cdot 10^{-4} \cdot f_{yd}^2 - 0,2 \cdot f_{yd} + 81,8$$

 $k = 1;$
(4.12)

kai, 3, 34 \cdot 10⁻⁴ \cdot f_{yd}^2 - 0, 291 \cdot f_{yd} + 110 > $\frac{h_0}{t_0} \ge 2, 45 \cdot 10^{-4} \cdot f_{yd}^2$ - 0, 2 \cdot f_{yd} + 81, 8

$$k = 0,9 + 670 \left(\frac{t_0}{h_0}\right)^2 - 170 \frac{f_{yd}}{E},$$
(4.13)

kai
$$\frac{h_0}{t_0} \ge 3,34 \cdot 10^{-4} \cdot f_{yd}^2 - 0,291 \cdot f_{yd} + 110$$

$$k = \frac{3.6 \cdot E}{f_{yd}} \left(\frac{t_0}{h_0}\right)^2,\tag{4.14}$$

Formule (4.11) įvertinamas galimas mazgo laikomosios galios netekimas dėl juostos šoninės sienelės klupumo, esant gana dideliems $b_{1(2)}/b_0$ santykiams (kai praspaudimas apsunkintas). Koeficientas *k* įvertina galimą juostos sienutės ruožo, kaip gniuždomos plokštelės, laikomosios galios sumažėjimą tamprioje arba tampriai plastinėje zonoje ($k = \sigma_{cr}/f_{y,d}$, čia σ_{cr} – kritiniai įtempiai). Plienui, kurio $f_{y,d} \le 400$ MPa ir kai santykis $h_0/t_0 \le 40$, k = 1,0.

Tinklelio elemento laikomoji galia jo prijungimo prie juostos srityje turi būti tikrinama:

K ir N mazguose, kai kampas tarp tinklelio ir juostos $\alpha = 40 - 50^{\circ}$ pagal formulę [19]:

$$\left| N_{1(2)} \right| + \frac{0.5 \left| M_{1(2)} \right|}{h_{1(2)}} \le \frac{\gamma_c \gamma_1 k f_{yd,1(2)} A_{1(2)}}{1 + 0.013 b_0 / t_0}, \qquad (4.17)$$

čia: k – nustatomas pagal 4.12 – 4.14 išraiškas, pakeičiant juostos charakteristikas tinklelio elemento charakteristikomis (b_0 – į didesnįjį iš $b_{1(2)}$ ir $h_{1(2)}$, t_0 į $t_{1(2)}$; $f_{y,d}$ į $f_{yd,1(2)}$); $f_{yd1(2)t}$ – atitinkamo tinklelio elemento skaičiuojamasis plieno stipris pagal takumo ribą; $A_{1(2)}$ – atitinkamo tinklelio elemento skerspjūvio plotas; $t_{1(2)}$ – atitinkamo tinklelio elemento sienelės storis, stačiakampio skerspjūvio tinklelio elementams dešinę formulės pusę reikia padauginti iš daugiklio $\frac{2}{2}\left(1+\frac{1}{1+k}-\frac{1}{k}\right);$

$$\overline{3}\left(1+\frac{1+b_{1(2)}}{1+b_{1(2)}}\right)$$

T, X, Y mazguose, pagal formulę [20]:

$$\left|N_{1(2)}\right| + \frac{0.5\left|M_{1(2)}\right|}{h_{1(2)}} \le \frac{\gamma_c \gamma_1 k f_{yd,1(2)} A_{1(2)}}{\left[1 + 0.01(3 + 5b_{1(2)} / b_0 - 0.1h_{1(2)} / t_{1(2)})b_0 / t_0\right] \sin \theta_{1(2)}},$$
(4.18)

Išraiškoje (4.7) formulė apskrituose skliausteliuose neturi būti mažesnė nei 0. Skaičiuojant stačiakampio skerspjūvio tinklelio elementus, dešinė (4.7) formulės pusė turi būti dauginama iš daugiklio $\frac{2}{1+b_{1(2)}/h_{1(2)}}$.

Tolesnės analizės supaprastinimui mazgų skaičiavimo algoritmų pagal [19] reikalavimus žymenis pervedame į atitinkamus pagal [7]. Tada K ir N tipo mazgų su tarpu ašinės laikomosios galios skaičiavimas pateikiamas 4.6 lentelėje, o T, Y, X tipo mazgų ašinės laikomosios galios skaičiavimas 4.7 lentelėje.

Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomoji galia
K ir N mazgai su tarpu	Juostos viršaus irtis, kai $\beta \le 0,9$ ir $\frac{g \cdot \sin \theta_i}{2b_i} \le 0,25$
b_1 N_1 g N_2 b_2 b_2	$N_{i,Rd} = \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (\frac{2\eta}{\sin \theta_i} + g + 2\sqrt{1-\beta})}{(0,4+0,9g \cdot \sin \theta_i / b_i)(1-\beta)\sin \theta_i}$
θ2	Juostos viršaus irtis, kai $\beta \le 0.9$ ir
	$\frac{g \cdot \sin \theta_i}{2b_i} > 0,25$
	$N_{i,Rd} \leq \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (\frac{2\eta}{\sin \theta_i} + 2\sqrt{1-\beta})}{(1-\beta) \cdot \sin \theta_i}$
	Tinklelio elemento irtis

4.6 lentelė. K su tarpu ir N su tarpu mazgų ašinės laikomosios galios nustatymo algoritmai [19]

$N_{i,Rd} = \frac{\gamma_c \gamma_1 k f_{yd,i} A_i}{1 + 0,013 b_0 / t_0}$

4.7 lentelė. T, Y arba X tipo mazgų ašinės laikomo	osios galios nustatymo algoritmai [19]
Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomoji galia
T,Y ir X mazgai	Juostos viršaus irtis
t h _i	$N_{i,Rd} \leq \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (\frac{2\eta}{\sin \theta_i} + 2\sqrt{1-\beta})}{(1-\beta) \cdot \sin \theta_i}$
N _I	Juostos šoninės sienelės klupumas
	$\beta > 0,85$
	$N_{i,Rd} = 2\gamma_c \gamma_t k f_{y,d} t_0 h_i / \sin^2 \theta_i$
	Tinklelio elemento irtis
	$N = \frac{\gamma_c \gamma_1 k f_{yd,1(2)} A_i}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 +$
	$[1+0,01(3+5\beta-0,1h_i/t_i)b_0/t_0]\sin\theta_i$

5. SANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ PROJEKTAVIMAS

Plokščiųjų santvarų modeliavimui buvo pasinaudota kompiuterine programa *Staad.Pro.* Santvaros skaičiuojamoji schema peteikta 26 paveiksle. Schema priimta, tokia, kad galima būtų aptarti visus nagrinėjamuose norminiuose dokumentuose pateikiamus, plokščiųjų santvarų virintinių mazgų tipus.



26 pav. Analizuojamos santvaros skaičiuojamoji schema

Įrąžos santvaros elementuose gautos nuo dviejų apkrovos atmainų derinio,t.y.: konstrukcijų savojo svorio ir nekonstrukcinių elementų (stogo dangos) savojo svorio su daliniu poveikio

patikimumo koeficientu $\gamma_Q = 1,35$ ir sniego apkrovos Vilniaus rajone [21] (1 priedo 1 lentelė) su daliniu poveikio patikimumo koeficientu $\gamma_Q = 1,3$.

Apkrovos vykdant iteracinius mazgų skaičiavimus nebuvo keičiamos.

Santvaros konstrukcinių elementų parinkimui ir mazgų skaičiuotinės ašinės laikomosios galios nustatymui, bei skaitinei analizei atlikti buvo pasinaudota kompiuterine programa *Microsoft Office Exel* sudarytais skaičiavimo algoritmais, įvertinant visas anksčiau aptartas mazgų konstravimo ir skaičiavimo sąlygas. Primama, kad "Santvara 1" – projektuojama pagal STR 2.05.08:2005 nuostatas,o "Santvara 2" – pagal EN 1993-1-1.

5.1 Santvaros konstrukcinių elementų parinkimas ir laikomosios galios nustatymas

Santvaros konstrukcinių elementų numeracija pateikiama 27 paveiksle.



27 pav. Analizuojamos santvaros konstrukcinių elementų numeracija

Santvaros konstrukcinių elementų skerspjūvių pirminiam parinkimui pasinaudojame ribinio liaunio sąlyga, programiškai parinkti ir priimti, tolesniuose skaičiavimuose naudojami skerspjūviai pateikiami 1 priedo 1.1-1.8 lentelėse.

Įrąžų pasiskirstymo santvaros elementuose nuo pasirinkto apkrovų derinio schemos pateikiamos 28 ir 29 paveiksluose:



28 pav. Lenkiamųjų momentų pasiskirstymo santvaros elementuose schema



29 pav. Ašinių jėgų pasiskirstymo santvaros elementuose schema

Irąžų suvestinės pateikiamos 1 priedo 1.9-1.10 lentelėse.

5.1.1 "Santvaros 1" konstrukcinių elementų parinkimas

Santvaros apatinės juostos elementai priimami kaip tempiamieji elementai. Elementų skerspjūviai parenkami pagal [20], jų laikomoji galia tikrinama pagal 3.2.1 poskyryje pateiktas sąlygas, kompiuterine programa tikrinamų ir priimamų santvaros apatinės juostos elementų skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. "Santvaros 1" apatinės juostos elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikia	nčią įrąžą
--	------------

			Apatin				Skerspiūvio		
Eleme	nto Nr.	N _{Ed} , kN	f _y , MPa	γм	$A_{net,d}, cm^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	i, cm	klasė
1	Tempimas	-335,898	275	1,1	13,436 120x120x3		13,81	4,760	4klasė
2	Tempimas	-678,049	275	1,1	27,122	100x100x8	27,24	3,67	1klasė
3	Tempimas	-751,275	275	1,1	30,051	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
4	Tempimas	-751,275	275	1,1	30,051	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
5	Tempimas	-678,049	275	1,1	27,122	100x100x8	27,24	3,67	1klasė
6	Tempimas	-335,898	275	1,1	13,436	120x120x3	13,81	4,76	4klasė
Pri	imamas skers	pjūvis, paga	ıl maksimal	ią gniuždyn	no įrąžą	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
Palygi	name pagal m								
su prie	š tai parinktu	pagal liaun	io sąlygą ir	140x140x6	31,23	5,43			
santva	ros juostos sk	erspjūvį.							1klasė

Kaip matome iš 5.1 lentelėje pateiktų skaičiavimo rezultatų, pagal apatinėje juostoje veikiančią įrąžą, reikiamas juostos skerspjūvis yra 120x120x7.1 vamzdis,tačiau jis netenkina priimto ribinio liaunio sąlygos, todėl tolesniuose skaičiavimuose naudojamas skerspjūvis priimtas pagal liaunio sąlygą – 140x140x6 vamzdis (lentelėse gelsva spalva pažymėtos įvesties eilutes).

5.2 lentelė. "Santvaros 1" apatinės juostos elementų laikomosios galios patikrinimas

N _{t,Rd} , kN	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	$\begin{array}{l} N_{Ed} / N_{NM,c,Rd} < \\ = 1,0 \end{array}$	Ekonomiškumo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyga
780,75	0,962	Sąlyga tenkinama	3,78%	Sąlyga tenkinama

Kaip matome iš 5.2 lenetelėje pateiktų rezultatų santvaros apatinės juostos elementų laikomoji galia yra pakankama, skaičiavimams užteko vieno iteracinio žingsnio.

Santvaros viršutinės juostos elementai priimami kaip gniuždomieji lenkiamieji elementai, jų programinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.3 lentelėje.

		Skerspjūvio							
Elemento Nr.		N _{Ed} , kN	f _y , MPa	$\gamma_{\rm M}$	$A_{net,d}, m^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	I, CM	klasė
7	Gniuždymas	4,543	275	1,1	0,182	40x40x2	2,94	1,54	1klasė
8	Gniuždymas	553,199	275	1,1	22,128	100x100x6.3	22,25	3,76	1klasė
9	Gniuždymas	553,069	275	1,1	22,123	100x100x6.3	22,25	3,76	1klasė
10	Gniuždymas	745,462	275	1,1	29,818	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
11	Gniuždymas	745,416	275	1,1	29,817	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
12	Gniuždymas	725,523	275	1,1	29,021	140x140x5.6	29,3	5,45	1klasė
13	Gniuždymas	725,523	275	1,1	29,021	140x140x5.6	29,3	5,45	1klasė
14	Gniuždymas	745,416	275	1,1	29,817	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
15	Gniuždymas	745,462	275	1,1	29,818	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
16	Gniuždymas	553,069	275	1,1	22,123	100x100x6.3	22,25	3,76	1klasė
17	Gniuždymas	553,199	275	1,1	22,128	100x100x6.3	22,25	3,76	1klasė
18	Gniuždymas	4,543	275	1,1	0,182	40x40x2	2,94	1,54	1klasė
Priimamas s	kerspjūvis, pagal m	aksimalia	ą gniužd	ymo	įrąžą	120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė
Palyginame pag prieš tai pari	27,29	4,58	1klasė						
Priartėji	imo būdu parenkan	ne reikian	ną skersp	ojūvį		120x120x7.1	30,33	4,53	1klasė

5.3 lentelė. "Santvaros 1" viršutinės juostos elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią įrąžą

Santvaros viršutinės juostos elemento laikomosios galios tikrinimo uždavinio rezultatai

pateikiami 5.4 lentelėje.

5.4 lentelė. "Santvaros 1" viršutinės juostos elementų laikomosios galios patikrinimas

pirmasis iteracinis skaičiavimas

		Pirmasis itera	cinis skaičiavima	ıs		
i _x =i _y , cm	$l_{x,eff} = l_{y,eff},$ m	$\lambda_x = \lambda_y$	W _{el} , cm ³	N _{Ed} , kN	M _{Ed} , kNm	
4,53	3,010	66	103,9	745,462	10,688	
e, m	e _{rel} , m	\mathbf{k}_{shape}	e _{rel,eff} , m	λ_{sal}	φ _e	γc
0,014	0,391	1	0,391	2,293	0,652	1
N _{NM,c,Rd} , kN	$N_{Ed}/N_{NM,c,Rd}$	N _{Ed} /N _{NM,c,Rd} <=1,0	Ekonomiškumo rodiklis	Ekono	miškumo s	sąlyga
494,41	1,508	Sąlyga netenkinama	50,78%	Sąlyg	ga netenkir	iama

Kaip matome pirmuoju iteraciniu skaičiavimu priimto viršutinės juostos elemento laikomoji galia nepakankama, programa galima atlikti papildomus iteracinius skaičiavimus, papildomoje 5.3 lentelės įvesties eilutėje pasirenkant vamzdinius profiliuočius, pagal sortimentą (programoje įvestas vamzdžių sortimentas pagal LST EN 10219).

Atlikus tam tikrą skaičių iteracinių žingsnių, priimamas reikiamas vamzdinis – 140x140x8, kuris tenkina 5.4 lentelėje pateiktas elemento laikomosios galios sąlygas.

 5.5 lentelė. "Santvaros 1" viršutinės juostos elemento laikomosios galios patikrinimas n – asis iteracinis skaičiavimas

		n-tasis iterac	inis skaičiavimas	5		
i _x =i _y , cm	$l_{x,eff} = l_{y,eff},$ m	$\lambda_x = \lambda_y$	W _{el} , cm ³	N _{Ed} , kN	M _{Ed} , kNm	
5,3	3,010	57	161	745,462	10,688	
e, m	e _{rel} , m	\mathbf{k}_{shape}	e _{rel,eff} , m	λ_{sal}	φ _e	γc
0,014	0,243	1	0,243	1,960	0,750	1
N _{NM,c,Rd} , kN	$N_{Ed}/N_{NM,c,Rd}$	N _{Ed} /N _{NM,c,Rd} <=1,0	Ekonomiškumo rodiklis	Ekono	miškumo s	sąlyga
751,07	0,993	Sąlyga tenkinama	0,75%	Sąly	ga tenkina	ıma

Tinklelio elementai priimami kaip ašinės jėgos veikiami elementai,tempiamajame tinklelio elemente laikomoji galia nustatoma pagal elemento stiprumo sąlygas, gniuždomajame – įvertinama klumpamoji galia. Elementų parinkimas ir jų laikomosios galios patikrinimas atliekamas kompiuterine programa. Pirmojo iteracinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.6 ir 5.7 lentelėse.

5.6 lentelė.	"Santvaros 1"	' tinklelio	elementų	skerspjūvio	parinkimas paga	l veikiančią įrąžą
--------------	---------------	-------------	----------	-------------	-----------------	--------------------

	Tinklelio elementai												
Elemento Nr.		N _{Ed} , kN	f _y , MPa	γм	$A_{net,d}, m^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	i, cm	klasė				
19	Gniuždymas	430,148	275	1,1	17,206	120x120x4	18,15	4,710	1klasė				
20	Tempimas	-275,575	275	1,1	11,023	100x100x3	11,41	3,94	1klasė				
21	Gniuždymas	180,885	275	1,1	7,235	80x80x2.5	7,59	3,15	4klasė				
22	Tempimas	-88,372	275	1,1	3,535	40x40x2.5	3,59	1,51	1klasė				
23	Gniuždymas	16,031	275	1,1	0,641	40x40x2	2,94	1,54	1klasė				
24	Gniuždymas	45,852	275	1,1	1,834	40x40x2	2,94	1,54	1klasė				
25	Gniuždymas	45,852	275	1,1	1,834	40x40x2	2,94	1,54	1klasė				
26	Gniuždymas	16,031	275	1,1	0,641	40x40x2	2,94	1,54	1klasė				
27	Tempimas	-88,372	275	1,1	3,535	40x40x2.5	3,59	1,51	1klasė				
28	Gniuždymas	180,885	275	1,1	7,235	80x80x2.5	7,59	3,15	4klasė				
29	Tempimas	-275,575	275	1,1	11,023	100x100x3	11,41	3,94	1klasė				
30	Gniuždymas	430,148	275	1,1	17,206	120x120x4	18,15	4,71	1klasė				
Sk	erspjūvis, pagal r	naksimalią g	niuždymo	įrąžą		120x120x4	18,15	4,71	1klasė				
Palyginame pagal maksimalią apkrovą apskaičiuotą skerspjūvį su prieš tai parinktu pagal liaunio sąlygą ir priimame reikiamą skerspjūvį													

19	120x120x4	18,15	4,71	1klasė
20	100x100x3	11,41	3,94	2klasė

21	80x80x2.5	7,59	3,15	2klasė
22	80x80x5	14,36	3,03	1klasė
23	80x80x4	11,75	3,07	1klasė
24	80x80x4	11,75	3,07	1 klasė
25	80x80x4	11,75	3,07	1 klasė
26	80x80x4	11,75	3,07	1 klasė
27	80x80x5	14,36	3,03	1 klasė
28	80x80x2.5	7,59	3,15	2klasė
29	100x100x3	11,41	3,94	2klasė
30	120x120x4	18,15	4,71	1klasė
n-tasis iteracinis skaičiavima	IS			
19	120x120x6	26,43	4,61	1klasė
20	100x100x3	11,41	2,67	2klasė
21	80x80x5	14,36	3,79	1klasė
22	50x50x3	5,41	2,67	1klasė
23	50x50x3	5,41	3,03	1klasė
24	50x50x3	5,41	3,03	1klasė
25	50x50x3	5,41	3,03	1klasė
26	50x50x3	5,41	3,03	1klasė
27	50x50x3	5,41	2,67	1klasė
28	80x80x5	14,36	3,79	1klasė
29	100x100x3	11,41	2,67	2klasė
30	120x120x6	26,43	4,61	1klasė

Antrojoje 5.6 lentelės dalyje įvesties eilutėje pateikiami n – tuoju iteraciniu skaičiavimu priimti skerspjūviai, kurių tikrinimo uždavinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.7 lentelėje.

	Pirmas iteracinis skaičiavimas															
Elemento Nr.	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} ≡l _{y,eff} , m	$\lambda_x = \lambda_y$	α	$\lambda_{u,c}$	Liaunio sąlyga	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	φ	γ _{M1}	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomišku mo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
19	4,61	3,096	67	1,125	112	λ<λu,c	430,148	2,317	0,766	1	382,19	1,125	Sąlyga netenkinama	12,55%	Sąlyga netenkinama	112,55%
20	3,94	3,096	79	0,878	127	λ<λu,c	-275,58	2,711	0,000	1	313,78	0,878	Sąlyga tenkinama	12,17%	Sąlyga netenkinama	87,83%
21	3,15	3,368	107	1,847	69	λ>λu,c	180,885	3,689	0,469	1	97,93	1,847	Sąlyga netenkinama	84,72%	Sąlyga netenkinama	184,72%
22	3,03	3,368	111	0,500	150	λ<λu,c	-88,372	3,835	0,000	1	394,90	0,224	Sąlyga tenkinama	77,62%	Sąlyga netenkinama	22,38%
23	3,07	3,656	119	0,500	150	λ<λu,c	16,031	4,109	0,400	1	129,38	0,124	Sąlyga tenkinama	87,61%	Sąlyga netenkinama	12,39%
24	3,07	3,656	119	0,500	150	λ<λu,c	45,852	4,109	0,400	1	129,38	0,354	Sąlyga tenkinama	64,56%	Sąlyga netenkinama	35,44%
25	3,07	3,656	119	0,500	150	λ<λu,c	45,852	4,109	0,400	1	129,38	0,354	Sąlyga tenkinama	64,56%	Sąlyga netenkinama	35,44%
26	3,07	3,656	119	0,500	150	λ<λu,c	16,031	4,109	0,400	1	129,38	0,124	Sąlyga tenkinama	87,61%	Sąlyga netenkinama	12,39%
27	3,03	3,368	111	0,500	150	λ<λu,c	-88,372	3,835	0,000	1	394,90	0,224	Sąlyga tenkinama	77,62%	Sąlyga netenkinama	22,38%
28	3,15	3,368	107	1,847	69	λ>λu,c	180,885	3,689	0,469	1	97,93	1,847	Sąlyga netenkinama	84,72%	Sąlyga netenkinama	184,72%
- 29	3,94	3,096	79	0,878	127	λ<λu,c	-275,58	2,711	0,000	1	313,78	0,878	Sąlyga tenkinama	12,17%	Sąlyga netenkinama	87,83%
30	4,71	3,096	66	1,115	113	λ<λu,c	430,148	2,268	0,773	1	385,90	1,115	Sąlyga netenkinama	11,47%	Sąlyga netenkinama	111,47%

5.7 lentelė. Pirmuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" tinklelio elementų laikomosios galios patikrinimas

Kaip matome iš 5.7 lentelėje pateiktų skaičiavimų rezultatų tinklelio elementų, kuriuose veikia didžiausios gniuždymo įrąžos laikomoji galia nepakankama. Kadangi programa yra perskaičiuojamas ribinis laiunis, tai vykdant tolesnius iteracinius skaičiavimus, galima pakoreguoti net tik tuos elementų skerspjūvius, kurių laikomoji galia yra per maža, bet ir tuos, kurių laikomoji galia yra pakankama, tačiau, dėl skaičiavimų pradžioje pasirinkto ribinio liaunio reikšmės programa reikalauja didesnio profiliuočio, tai svarbu vertinant ekonomiškumo sąlygą (ekonomiškumo sąlyga tenkinama tuomet kai ekonomiškumo rodiklis ≤ 10 %).

	n-tasis iteracinis skaičiavimas															
Elemento Nr.	i _x =i _{y,} cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	$\lambda_x = \lambda_y$	α	$\lambda_{u,c}$	Liaunio sąlyga	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	φ	γм1	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomišku mo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
19	4,61	3,096	67	0,773	134	λ<λu,c	430,148	2,317	0,766	1	556,55	0,773	Sąlyga tenkinama	22,71%	Sąlyga netenkinama	77,29%
20	2,67	3,096	116	0,878	127	λ<λu,c	-275,58	4,001	0,000	1	313,78	0,878	Sąlyga tenkinama	12,17%	Sąlyga netenkinama	87,83%
21	3,79	3,368	89	0,976	121	λ<λu,c	180,885	3,066	0,469	1	185,27	0,976	Sąlyga tenkinama	2,37%	Sąlyga tenkinama	97,63%
22	2,67	3,368	126	0,594	144	λ<λu,c	-88,372	4,352	0,000	1	148,78	0,594	Sąlyga tenkinama	40,60%	Sąlyga netenkinama	59,40%
23	3,03	3,656	121	0,500	150	λ<λu,c	16,031	4,163	0,400	1	59,57	0,269	Sąlyga tenkinama	73,09%	Sąlyga netenkinama	26,91%
24	3,03	3,656	121	0,770	134	λ<λu,c	45,852	4,163	0,400	1	59,57	0,770	Sąlyga tenkinama	23,03%	Sąlyga netenkinama	76,97%
25	3,03	3,656	121	0,770	134	λ<λu,c	45,852	4,163	0,400	1	59,57	0,770	Sąlyga tenkinama	23,03%	Sąlyga netenkinama	76,97%
26	3,03	3,656	121	0,500	150	λ<λu,c	16,031	4,163	0,400	1	59,57	0,269	Sąlyga tenkinama	73,09%	Sąlyga netenkinama	26,91%
27	2,67	3,368	126	0,594	144	λ<λu,c	-88,372	4,352	0,000	1	148,78	0,594	Sąlyga tenkinama	40,60%	Sąlyga netenkinama	59,40%
28	3,79	3,368	89	0,976	121	λ<λu,c	180,885	3,066	0,469	1	185,27	0,976	Sąlyga tenkinama	2,37%	Sąlyga tenkinama	97,63%
29	2,67	3,096	116	0,878	127	λ<λu,c	-275,58	4,001	0,000	1	313,78	0,878	Sąlyga tenkinama	12,17%	Sąlyga netenkinama	87,83%
30	4,61	3,096	67	0,765	134	λ<λu,c	430,148	2,317	0,773	1	561,95	0,765	Sąlyga tenkinama	23,45%	Sąlyga netenkinama	76,55%

5.8 lentelė. N-uoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" tinklelio elementų laikomosios galios patikrinimas

Taip pat kaip ir tinklelio elementai parenkami ir statramsčių elementai. Jų pirmojo iteracinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.9-5.10 lentelėse.

Elemento Nr.		N _{Ed} , kN	f _y , MPa	γм	$A_{net,d}, m^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	i, cm	Skerspjūvio klasė
31	Gniuždymas	20,784	275	1,1	0,831	40x40x2	2,94	1,540	1klasė
32	Gniuždymas	46,035	275	1,1	1,841	40x40x2	2,94	1,54	1klasė
33	Gniuždymas	47,173	275	1,1	1,887	40x40x2	2,94	1,54	1 klasė
34	Tempimas	-72,553	275	1,1	2,902	40x40x2	2,94	1,54	1 klasė
35	Gniuždymas	47,173	275	1,1	1,887	40x40x2	2,94	1,54	1 klasė
36	Gniuždymas	46,035	275	1,1	1,841	40x40x2	2,94	1,54	1 klasė
37	1,54	1klasė							
S	1,54	1klasė							

5.9 lentelė. "Santvaros 1" statramsčių elementų skerspjūvio parinkimas pagal veikiančią įrąžą

Palyginame pagal maksimalią apkrovą apskaičiuotą skerspjūvį su prieš tai parinktu pagal liaunio sąlygą ir priimame reikiamą skerspjūvį

31	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
32	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
33	60x60x4	8,55	2,26	1klasė
34	70x70x4	10,15	2,67	1klasė
35	60x60x4	8,55	2,26	1klasė
36	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
37	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
Antrasis iteracinis skaičiavima	as			
31	40x40x2	5,41	1,54	1klasė
32	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
33	50x50x3	8,55	1,9	1klasė
34	50x50x3	10,15	1,9	1klasė
35	50x50x3	8,55	1,9	1klasė
36	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
37	40x40x2	5,41	1,54	1klasė

	Pirmas iteracinis skaičiavimas															
Elemento Nr.	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	λ _x =λ _y	α	$\lambda_{u,c}$	Liaunio sąlyga	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	φ	γм1	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	$N_{Ed}/N_{Rd} \ll 1.0$	Ekonomišku mo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
31	1,9	1,650	87	0,500	150	λ<λu,c	20,784	2,996	0,604	1	89,83	0,231	Sąlyga tenkinama	76,86%	Sąlyga netenkinama	23,14%
32	1,9	2,025	107	0,657	141	λ<λu,c	46,035	3,677	0,471	1	70,11	0,657	Sąlyga tenkinama	34,34%	Sąlyga netenkinama	65,66%
33	2,26	2,400	106	0,500	150	λ<λu,c	47,173	3,664	0,474	1	111,35	0,424	Sąlyga tenkinama	57,63%	Sąlyga netenkinama	42,37%
34	2,67	2,775	104	0,500	150	λ<λu,c	-72,553	3,586	0,000	1	279,13	0,260	Sąlyga tenkinama	74,01%	Sąlyga netenkinama	25,99%
35	2,26	2,400	106	0,500	150	λ<λu,c	47,173	3,664	0,474	1	111,35	0,424	Sąlyga tenkinama	57,63%	Sąlyga netenkinama	42,37%
36	1,9	2,025	107	0,657	141	λ<λu,c	46,035	3,677	0,471	1	70,11	0,657	Sąlyga tenkinama	34,34%	Sąlyga netenkinama	65,66%
37	1,9	1,650	87	0,500	150	λ<λu,c	20,784	2,996	0,604	1	89,83	0,231	Sąlyga tenkinama	76,86%	Sąlyga netenkinama	23,14%

5.10 lentelė. Pirmuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" statramsčių elementų laikomosios galios patikrinimas

5.11 lentelė. N-tuoju iteraciniu skaičiavimu gautų "Santvaros 1" statramsčių elementų laikomosios galios patikrinimas

n-tasis iteracinis skaičiavimas																
Elemento Nr	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	λ _x =λ _y	α	$\lambda_{u,c}$	Liaunio sąlyga	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	φ	γм1	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomišku mo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
3	1 1,54	1,650	107	0,500	150	λ<λu,c	20,784	3,697	0,468	1	69,60	0,299	Sąlyga tenkinama	70,14%	Sąlyga netenkinama	29,86%
32	2 1,9	2,025	107	0,657	141	λ<λu,c	46,035	3,677	0,471	1	70,11	0,657	Sąlyga tenkinama	34,34%	Sąlyga netenkinama	65,66%
3.	3 1,9	2,400	126	0,551	147	λ<λu,c	47,173	4,358	0,364	1	85,62	0,551	Sąlyga tenkinama	44,90%	Sąlyga netenkinama	55,10%
34	4 1,9	2,775	146	0,500	150	λ<λu,c	-72,553	5,039	0,000	1	279,13	0,260	Sąlyga tenkinama	74,01%	Sąlyga netenkinama	25,99%
3:	5 1,9	2,400	126	0,551	147	λ<λu,c	47,173	4,358	0,364	1	85,62	0,551	Sąlyga tenkinama	44,90%	Sąlyga netenkinama	55,10%
3	6 1,9	2,025	107	0,657	141	λ<λu,c	46,035	3,677	0,471	1	70,11	0,657	Sąlyga tenkinama	34,34%	Sąlyga netenkinama	65,66%
3'	7 1,54	1,650	107	0,500	150	λ<λu,c	20,784	3,697	0,468	1	69,60	0,299	Sąlyga tenkinama	70,14%	Sąlyga netenkinama	29,86%

Iš 5.10 lentelėje pateiktų skaičiavimo rezultatų matyti, kad visų santvaros statramsčių elementų laikomoji galia yra pakankama, tačiau iteracinių skaičiavimo 5.9 lentelės ivesties eilutėje galime pakoreguoti vamzdinius profiliuočius, kad pasiekti didesnį ekonomiškumą. Mažesnių profiliuočių parinkti negalima dėl liaunio sąlygos, kadangi santvaros statramsčių elementų ekonomiškumo rodiklis labai mažas, galima bandyti skaičiuoti tokia santvarą be šių elementų. Nereikia pamiršti, kad tuomet padidės santvaros viršutinės juostos elementų skaičiuojamasis ilgis, ir gali tekti priimti didesnio skerspjūvio profiliuotį šiems santvaros elementų skaičiuoti tokia santvaros viršutinės juostos elementų skaičiuojamasis ilgis, ir gali tekti priimti

Tinklelio elementų profiliuočiai neunifikuojami, priimami mažiausi skerspjūviai pagal laikomosios galios ir ribinio liaunio sąlygas.

5.1.2 "Santvaros 2" konstrukcinių elementų parinkimas

Kaip ir ankstesniame poskyryje santvaros konstrukciniai elementai parenkami ir tikrinami ta pačia kompiuterine programa, tik šiuo atveju vadovaujantis 3.1 skyriuje pateiktomis sąlygomis, santvaros apatinės juostos elementų skaičiavimų rezultatai pateikiami 5.12 lentelėje.

			Skerenjūvio						
Elemento Nr.		N _{Ed} , kN	f _y , MPa	γ _{M1}	$A_{net,d}, m^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	i, cm	klasė
1	Tempimas	-345,117	275	1	12,550	110x110x3	12,61	4,350	3klasė
2	Tempimas	-693,943	275	1	25,234	140x140x5	26,36	5,48	1klasė
3	Tempimas	-767,239	275	27,900	150x150x5	28,36	5,89	1klasė	
4	Tempimas	-767,239	275	27,900	150x150x5	28,36	5,89	1klasė	
5	Tempimas	-693,943	275	1	25,234	140x140x5	26,36	5,48	1klasė
6	Tempimas	-345,117	275	1	12,550	110x110x3	12,61	4,35	3klasė
Priimam	as skerspjūvi	is, pagal m įrąžą	aksimalia	ą gni	uždymo	150x150x5	28,36	5,89	1klasė
Palygina skerspjūv priima	ame pagal m vį su prieš tai me reikiamą	aksimalią a i parinktu p santvaros	apkrovą a bagal liau juostos s	aičiuotą sąlygą ir pjūvį.	150x150x5	28,36	5,89	1 klasė	
Priartė	jimo būdu pa	arenkame r	eikiamą s	spjūvį:	150x150x5	28,36	5,89	1klasė	

5.12 lentelė. "Santvaros 2" apatinės juostos elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą

Santvaros apatinės juostos elementų laikomoji galia skaičiuojama pagal 3.5 formulę ir tikrinama 3.4 sąlyga, pirmojo iteracinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.13 lentelėje.

5.13 lentelė. "Santvaros 2" apatinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo

ir tikrinimo pirmasis iteracinis skaičiavimas

Pradiniai duomenys														
i _x =i _y , cm	$ \begin{array}{c c} i_x=i_y, \\ cm \end{array} \begin{array}{c c} l_{x,eff}=l_{y,eff}, \\ m \end{array} \lambda_x=\lambda_y \end{array} \begin{array}{c c} W_{el}, \\ cm^3 \end{array} \begin{array}{c c} W_{pl}, \\ cm^3 \end{array} \begin{array}{c c} W_{pl}, \\ cm^3 \end{array} \begin{array}{c c} W_{Ed}, \\ kNm \end{array} \begin{array}{c c} M_{y,Ed}, \\ kNm \end{array} \begin{array}{c c} M_{z,Ed}, \\ kNm \end{array} \begin{array}{c c} M_{z,Ed}, \\ kNm \end{array} $													
5,89	5,400	92	130,9	153	-767,239	0,000	-0,207							
	Tikrir	name sant	tvaros ap	oatinę j	uostą tempin	nui paga	l sąlygą:							
N _{t Pd} =	$= \mathbf{A} \cdot \mathbf{f}_{v} / \gamma_{MO} =$	779 90	kN	NE	d∕N+ ₽d≤1	0.98	Salvga tenkinama							

Kaip matome iš 5.13 lentelėje pateiktų rezultatų užteko vieno iteracinio žingsnio, kad parinktas profiliuotis tenkintų laikomosios galios sąlygą, tačiau, kaip buvo minėta, geriau pasirinkti storasienį profiliuotį su siauresne lentyna, todėl atliekame pakartotinius skaičiavimus ir parenkame 120x120x8 profiliuotį, skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.14 lentelėje.

5.14 lentelė. "Santvaros 2" apatinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo ir tikrinimo n-asis iteracinis skaičiavimas

Pradiniai duomenys														
i _x =i _y , cm	$\begin{array}{c c} i_x=i_y, \\ cm \end{array} \begin{array}{c c} l_{x,eff}=l_{y,eff}, \\ m \end{array} \begin{array}{c c} \lambda_x=\lambda_y \end{array} \begin{array}{c c} W_{el}, \\ cm^3 \end{array} \begin{array}{c c} W_{pl}, \\ cm^3 \end{array} \begin{array}{c c} N_{Ed}, & kN \end{array} \begin{array}{c c} M_{y,Ed}, \\ kNm \end{array} \begin{array}{c c} M_{z,Ed}, & kNm \end{array}$													
4,49	5,400	120	112,8	137,8	-767,239	0,000	-0,207							
	Tikriname santvaros apatinę juostą tempimui pagal sąlygą:													
$N_{t,p,d} = A \cdot f_{t/\gamma_{M0}} = 925.10 \text{ kN} \text{ N}_{Ed}/N_{t,p,d} \leq 1 0.83 \text{ Salvga tenkinama}$														

Pagal 3.12 formulę skaičiuojame santvaros viršutinės juostos elementų laikomąją galią, priimdami juos kaip gniuždomuosius lenkiamuosius elementus, ir tikriname poveikių sąveikos sąlyga – 3.11. Kompiuterine programa atliktų skaičiavimų rezultatai pateikiami 5.15-5.16 lentelėse. 5.15 lentelė. "Santvaros 2" viršutinės juostos elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą

Elemento Nr.		N _{Ed} , kN	f _v , MPa	γ _{M1}	$A_{net,d}, m^2$	Skerspjūvis	A_d , cm^2	i, cm	Skerspjūvio klasė
7	Gniuždymas	1,961	275	1	0,071	40x40x2	2,94	1,54	1klasė
8	Gniuždymas	565,004	275	1	20,546	140x140x4	21,35	5,52	2klasė
9	Gniuždymas	564,496	275	1	20,527	140x140x4	21,35	5,52	2klasė
10	28,36	5,89	1klasė						
11	Gniuždymas	761,969	275	1	27,708	150x150x5	28,36	5,89	1klasė
12	Gniuždymas	742,771	275	1	27,010	100x100x8	27,24	3,67	1klasė
13	Gniuždymas	742,771	275	1	27,010	100x100x8	27,24	3,67	1klasė
14	Gniuždymas	761,969	275	1	27,708	150x150x5	28,36	5,89	1klasė
15	Gniuždymas	761,996	275	1	27,709	150x150x5	28,36	5,89	1klasė
16	Gniuždymas	564,496	275	1	20,527	140x140x4	21,35	5,52	2klasė
17	Gniuždymas	565,004	275	1	20,546	140x140x4	21,35	5,52	2klasė
18	Gniuždymas	1,961	275	1	0,071	40x40x2	2,94	1,54	1klasė
Priimamas sk	erspjūvis, paga	al maksim	alią gniu	ždyı	no įrąžą	150x150x5	28,36	5,89	1klasė
Palyginame pa su prieš tai par	gal maksimaliq inktu pagal liau santvaros juo	apkrovą a unio sąlyg ostos skers	150x150x5	28,36	5,89	1klasė			
Priartėji	mo būdu paren	kame reik	iamą skei	rspji	ūvį:	150x150x5	28,36	5,89	1klasė

5.16 lentelė.	"Santvaros 2"	viršutinės juostos	elementų la	ikomosios g	galios skaičiavimo
ir tikrinimo pir	masis iteracini	s skaičiavimas			

		Ι	Pradiniai	duomen	ys			м 20 т	lz(kNm)				₋₂₀
i _x ≕i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	λ_x=λ_y	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	N _{Ed} , kN	M _{y.Ed} , kNm	M _{z.Ed} , kNm	10 -	1.4		1 5 1		8.81-10
5,89	2,709	46	130,9	153	762,00	0,000	11,412	7		1	2		3.01
		S	aičiuojan	nieji dydž	žiai								
λ_{sal}	χ	N _{b,Rd} , kN	M _{y.Ed} , kNm	M _{z.Ed} , kNm	ky	kz	μ_y	10 -			-0.1		-10
0,5298	0,8262	644,34	42,08	42,08	0,0000	1,5000	0,0000	20 -					=20
μ_z	β_{My}	β_{Mz}	$\beta_{M.\psi}$	β_{MQ}	M _Q , kNm	∆M, kNn	M _{Q,real} , kNm	M _{y1} , kNm	M _{y2} , kNm	M _{z1} , kNm	M _{z2} , kNm	ψ_{y}	ψz
-0,7626	0,0000	1,2803	1,2590	1,3000	10,1050	19,5000	-8,1	0	0	11,4	8,81	0	0,7728
Tikrinan	ne poveikių	į sąveikos	sąlygą (3,11.1):	1,59	Sąlyga ne	etenkinama						

Remiantis 3.5 lentele, turime įvertinti lenkiamojo momento diagramos formos koeficientus, tai iš kompiuterine programa *Staad.pro* gautų įrąžų nustatymo rezultatų į susivestą programą atikeliame nagrinėjamo elemento lenkiamųjų momentų diagramą ir įvesties eilutėse įvedame reikiamus duomenis, kad programa galėtų vykdyti tolesnius skaičiavimus. Iš 5.16 lentelėje pateiktų skaičiavimo rezultatų matome, kad 5.15 lentelėje priimto profiliuočio pagal veikiančią įrąža laikomoji galia yra nepakankama, todėl turime atlikti pakartotinius skaičiavimus. N-tuoju iteraciniu skaičiavimu pasirinkto 160x160x8 profiliuočio laikomosios galios skaičiavimo ir tikrinimo rezultatai pateikiami 5.17 lentelėje.

5.17 lentelė. "Santvaros 2" viršutinės juostos elementų laikomosios galios skaičiavimo ir tikrinimo n-asis iteracinis skaičiavimas

		F	Pradiniai	duomen	ys			²⁰ ∠	z(kNm)				۲ ²⁰
i _x =i _y ,	l _{x,eff} =l _{y,eff} ,	λ =λ	W _{el} ,	W _{pl} ,	N _{Ed} ,	$M_{y.Ed}$,	M _{z.Ed} ,	10	1.4			8	81-10
cm	m	N _X Ny	cm ³	cm ³	kN	kNm	kNm	10					
6,12	2,709	44	217,7	260,1	761,996	0,000	11,412	7		1.(51		8
		Sa	aičiuojan	nieji dydž	žiai					1	2	3	3.01
			$M_{y.Ed}\text{,}$	M _{z.Ed} ,	k	k		10 -		-8	.1		-10
λ_{sal}	χ	N _{b,Rd} , kN	kNm	kNm	ку	ĸz	μу						
0,5099	0,8375	1069,51	71,53	71,53	0,0000	1,5000	0,0000	20 -					-20
	ß	ß	ß	ß	M. kNm	M LND	M _{Q,real} ,	M _{y1} ,	M _{y2} ,	M _{z1} ,	M _{z2} ,		
μz	РМу	Рмz	РМ.ψ	рмү	IVIQ, KINIII	MVI, KINII	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	Ψy	Ψz
-0,7329	0,0000	1,2813	1,2590	1,3000	4,4050	8,1000	-8,1	0	0	11,4	8,81	0	0,7728
Tikrinam	ne poveikiu	saveikos	salvga (3.11.1):	0.95	Salvga t	enkinama						

Atlikus skaičiavimus matome, kad taikant [6] metodiką santvaros viršutinės juostos profiliuočio laikomoji galia gauta mažesnė nei pagal [20] metodiką nors santvarų elementuose veikiančios įrąžos beveik vienodos (žr. 2 priedą). Taip yra todėl, kad [20] metodikoje klupumo koeficientu mažinama tik klumpamoji galia,o pats klupumo koeficientas esant mažoms ekscentriteto reikšmėme praktiškai neįvertina lenkiamojo momento, kuris jei pažiūrėsime 5.17 lentelėje pateiktus skaičiavimus daro stiprų poveiki laikomosios galios reikšmei.

Santvaros tinklelio elementai projektuojami tik kaip ašinę jėgą perimantys elementai, jų laikomosios galios skaičiavimas atliekamas pagal 3.1.2 poskyryje pateiktas nuostatas. Programa

atlikto skerspjūvio parinkimo pirmojo ir n-ojo iteracinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.18 lentelėje. Priimtų profiliuočių laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo rezultatai pateikaimi 5.19-5.20 lentelėse.

	Tinklelio elementai											
Elemento									cı :- :			
Nr.		N kN	f MPa	o/	$\Lambda = m^2$	Skorenjūvie	$\Lambda \cdot cm^2$	i cm	Skerspjuvio klasė			
19	Gniuždymas	$1N_{Ed}$, KIN	$1_{\rm y}$, WI a	ΥM	$A_{\text{net,d}}, \Pi$	00x00x5	A_d , cm	2 /20	1klasė			
20	Tempimes	278 402	275	1	10,198	90x90x3	10,50	2,430	1klasė			
20	Cniuždumos	197 200	275	1	6 202	70x70x4	6.04	2,07	Aklasó			
21	Tompimos	<u>107,200</u> <u>88.002</u>	275	1	2,226	90x90x2	2 50	3,30	4Klase			
22	Cniuždumos	-00,995	40x40x2.3	2.04	1,51	1klasė						
23	Gniuždymas	13,44	$\frac{40x40x2}{40x40x2}$	2,94	1,54	1klasė						
25	Gniuždymas	43,673	40x40x2	2,94	1,54	1klasė						
26	Gniuždymas	15 44	0.561	40x40x2	2,94	1,54	1klasė					
23	Tempimas	-88 00/	3 236	40x40x2 5	3 59	1,54	1klasė					
28	Gniuždymas	187 208	275	1	6.808	90x90x2.5	6.94	3.58	Aklasė			
20	Tempimas	278 /03	275	1	10.127	$\frac{90x90x2}{70x70x4}$	10.15	2.67	-Klase 1klasė			
30	Cniuždumos	-270,493	275	1	16,127	70x70x4	16.26	2,07	1klasė			
Ske	rsnjūvis nagal n	443,433 naksimalia (90x90x5	16.36	2 / 2	1 klasė						
	ispjuvis, pagai ii		Sinazayin	0 քլ	<i>ન્</i> ટ્રન્	9029023	10,50	5,45	IKIASC			
Palyginam	ie pagal maksim	alią apkrova	ą apskaiči	uota	ą skerspjūvį	su prieš tai pa	rinktu pag	al liaun	io sąlygą ir			
			priimame	rei	klamą skers	pjuvį						
		19				90x90x5	16,36	3,43	1klasė			
		20				70x70x4	10,15	2,67	1 klasė			
		21				90x90x2	6,94	3,58	4klasė			
		22				70x70x4	10,15	2,67	1 klasė			
		23				80x80x5	14,36	3,03	1 klasė			
		24				80x80x5	14,36	3,03	1klasė			
		25				80x80x5	14,36	3,03	1klasė			
		26				80x80x5	14,36	3,03	1klasė			
		27				70x70x4	10,15	2,67	1klasė			
		28				90x90x2	6,94	3,58	4klasė			
		29				70x70x4	10,15	2,67	1klasė			
		30				90x90x5	16,36	3,43	1klasė			
		-	N-tasis ite	erac	inis skaičia	vimas						
		19				120x120x6	26,43	4,61	1klasė			
		20				70x70x4	10,15	2,67	1klasė			
		21				90x90x5	16,36	3,43	1klasė			
		22	70x70x4	10,15	2,67	1klasė						
		23	80x80x5	14,36	3,03	1klasė						
		24				80x80x5	14,36	3,03	1klasė			
		25				80x80x5	14,36	3,03	1klasė			
		26		80x80x5	14,36	3,03	1klasė					
		27				70x70x4	10,15	2,67	1klasė			

5.18 lentelė. "Santvaros 2" tinklelio elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą

28	90x90x5	16,36	3,43	1klasė
29	70x70x4	10,15	2,67	1klasė
30	120x120x6	26,43	4,61	1klasė

Elemento Nr.	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	$\lambda_x = \lambda_y$	N _{ed} , kN	λ_{sal}	χ	Ύм1	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomiškumo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
19	3,43	2,903	85	445,433	0,975	0,555	1	249,57	1,785	Sąlyga netenkinama	78,48%	Sąlyga netenkinama	178,48%
20	2,67	2,903	109	-278,493	1,252	0,000	1	279,13	0,998	Sąlyga tenkinama	0,23%	Sąlyga tenkinama	99,77%
21	3,58	3,158	88	187,208	1,016	0,531	1	101,29	1,848	Sąlyga netenkinama	84,82%	Sąlyga netenkinama	184,82%
22	2,67	3,158	118	-88,993	1,362	0,000	1	279,13	0,319	Sąlyga tenkinama	68,12%	Sąlyga netenkinama	31,88%
23	3,03	3,428	113	15,44	1,303	0,388	1	153,05	0,101	Sąlyga tenkinama	89,91%	Sąlyga netenkinama	10,09%
24	3,03	3,428	113	43,673	1,303	0,388	1	153,05	0,285	Sąlyga tenkinama	71,46%	Sąlyga netenkinama	28,54%
25	3,03	3,428	113	43,673	1,303	0,388	1	153,05	0,285	Sąlyga tenkinama	71,46%	Sąlyga netenkinama	28,54%
26	3,03	3,428	113	15,44	1,303	0,388	1	153,05	0,101	Sąlyga tenkinama	89,91%	Sąlyga netenkinama	10,09%
27	2,67	3,158	118	-88,994	1,362	0,000	1	279,13	0,319	Sąlyga tenkinama	68,12%	Sąlyga netenkinama	31,88%
28	3,58	3,158	88	187,208	1,016	0,531	1	101,29	1,848	Sąlyga netenkinama	84,82%	Sąlyga netenkinama	184,82%
29	2,67	2,903	109	-278,493	1,252	0,000	1	279,13	0,998	Sąlyga tenkinama	0,23%	Sąlyga tenkinama	99,77%
30	3,43	2,903	85	445,433	0,975	0,555	1	249,57	1,785	Sąlyga netenkinama	78,48%	Sąlyga netenkinama	178,48%

5.19 lentelė. "Santvaros 2" tinklelio elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo pirmasis iteracinis skaičiavimas

5.20 lentelė. "Santvaros 2" tinklelio elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo n-asis iteracinis skaičiavimas

Elemento Nr.	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	λ _x =λ _y	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	χ	γмı	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomiškumo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
19	4,61	2,903	63	445,433	0,725	0,709	1	515,33	0,864	Sąlyga tenkinama	13,56%	Sąlyga netenkinama	86,44%
20	2,67	2,903	109	-278,493	1,252	0,000	1	279,13	0,998	Sąlyga tenkinama	0,23%	Sąlyga tenkinama	99,77%
21	3,43	3,158	92	187,208	1,060	0,506	1	227,53	0,823	Sąlyga tenkinama	17,72%	Sąlyga netenkinama	82,28%

-	•												
22	2,67	3,158	118	-88,993	1,362	0,000	1	279,13	0,319	Sąlyga tenkinama	68,12%	Sąlyga netenkinama	31,88%
23	3,03	3,428	113	15,44	1,303	0,388	1	153,05	0,101	Sąlyga tenkinama	89,91%	Sąlyga netenkinama	10,09%
24	3,03	3,428	113	43,673	1,303	0,388	1	153,05	0,285	Sąlyga tenkinama	71,46%	Sąlyga netenkinama	28,54%
25	3,03	3,428	113	43,673	1,303	0,388	1	153,05	0,285	Sąlyga tenkinama	71,46%	Sąlyga netenkinama	28,54%
26	3,03	3,428	113	15,44	1,303	0,388	1	153,05	0,101	Sąlyga tenkinama	89,91%	Sąlyga netenkinama	10,09%
27	2,67	3,158	118	-88,994	1,362	0,000	1	279,13	0,319	Sąlyga tenkinama	68,12%	Sąlyga netenkinama	31,88%
28	3,43	3,158	92	187,208	1,060	0,506	1	227,53	0,823	Sąlyga tenkinama	17,72%	Sąlyga netenkinama	82,28%
29	2,67	2,903	109	-278,493	1,252	0,000	1	279,13	0,998	Sąlyga tenkinama	0,23%	Sąlyga tenkinama	99,77%
30	4,61	2,903	63	445,433	0,725	0,709	1	515,33	0,864	Sąlyga tenkinama	13,56%	Salyga netenkinama	86,44%

Iš 5.19 lentelėje pateiktų skaičiavimų rezultatų matome, kad 19, 21 ir 28, 30 tinklelio elementų laikomoji galia nepakankama, todėl 5.18 lentelėje n-ojo iteracinio skaičiavimo dalyje įvesties eilutėje pakoreaguojame minėtuosius skerspjūvius. Daugelio 5.20 lentelėje pateikiamų profiliuočių nedidelis išnaudojimo koeficientas, tačiau dėl priimto ribinio laiunio negalime skerspjūvių mažinti, kadangi EN 1993-1-1 projektavimo normose kitaip nei STR 2.05.08:2005 nenumatytas pataisos koeficientas α .

Taip pat atliekamas ir santvaros statramsčių elementų parinkimas, pirmojo iteracinio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5.21 ir 5.22 lentelėse.

	Statramsčių elementai										
Elemento Nr.		N ₋ . kN	f MPa	0 1	$\Lambda = m^2$	Skarenjūvis	$\Lambda = cm^2$	i cm	Skerspjūvio		
31	Gniuždymas	19,01	275	үм 1	0,691	40x40x2	2,94	1,540	1klasė		
32	Gniuždymas	42,614	275	1	1,550	40x40x2	2,94	1,54	1klasė		
33	Gniuždymas	48,599	275	1	1,767	40x40x2	2,94	1,54	1klasė		
34	Tempimas	-68,981	275	1	2,508	40x40x2	2,94	1,54	1klasė		
35	Gniuždymas	48,599	275	1	1,767	40x40x2	2,94	1,54	1klasė		
36	Gniuždymas	42,614	275	1	1,550	40x40x2	2,94	1,54	1klasė		
37	37 Gniuždymas 19,01 275 1 0,691 40x40x2 2,94								1klasė		
Skerspjūvis, pagal maksimalią gniuždymo įrąžą 40x40x2 2,94 1,54 1klase											

5.21 lentelė. "Santvaros 2" statramsčių elementų parinkimas pagal veikiančią įrąžą

Palyginame pagal maksimalią apkrovą apskaičiuotą skerspjūvį su prieš tai parinktu pagal liaunio sąlygą ir priimame reikiamą skerspjūvį

31	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
32	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
33	60x60x4	8,55	2,26	1klasė
34	70x70x4	10,15	2,67	1klasė
35	60x60x4	8,55	2,26	1klasė
36	50x50x3	5,41	1,9	1klasė
37	50x50x3	5,41	1,9	1klasė

Elemento Nr.	i _x =i _y , cm	l _{x,eff} =l _{y,eff} , m	λ _x =λ _y	N _{Ed} , kN	λ_{sal}	χ	γм1	N _{b,Rd} (N _{t,Rd}), kN	N _{Ed} /N _{Rd}	N _{Ed} /N _{Rd} <=1,0	Ekonomiškumo rodiklis	Ekonomiškumo sąlyag	Laikomosios galios išnaudojimo koeficientas
31	1,9	1,650	87	19,01	1,000	0,540	1	80,30	0,237	Sąlyga tenkinama	76,33%	Sąlyga netenkinama	23,67%
32	1,9	2,025	107	42,614	1,228	0,421	1	62,60	0,681	Sąlyga tenkinama	31,93%	Sąlyga netenkinama	68,07%
33	2,26	2,400	106	48,599	1,223	0,423	1	99,42	0,489	Sąlyga tenkinama	51,12%	Sąlyga netenkinama	48,88%
34	2,67	2,775	104	-68,98	1,197	0,000	1	279,13	0,247	Sąlyga tenkinama	75,29%	Sąlyga netenkinama	24,71%
35	2,26	2,400	106	48,599	1,223	0,423	1	99,42	0,489	Sąlyga tenkinama	51,12%	Sąlyga netenkinama	48,88%
36	1,9	2,025	107	42,614	1,228	0,421	1	62,60	0,681	Sąlyga tenkinama	31,93%	Sąlyga netenkinama	68,07%
37	1,9	1,650	87	19,01	1,000	0,540	1	80,30	0,237	Sąlyga tenkinama	76,33%	Sąlyga netenkinama	23,67%

5.22 lentelė. "Santvaros 2" statramsčių elementų laikomosios galios nustatymo ir tikrinimo pirmasis iteracinis skaičiavimas

Kaip ir tinklelio elementų parinkimo atveju, statramsčių profiliuočiai nėra pilnai išnaudojami. Jei atliktume santvaros optimizavimą, tai yra galimybė, kad statramsčių elementai nėra reikalingi, bet pagrindinis darbo tikslas yra išanalizuoti santvaros mazgus ir norint gauti KT tipo mazgą turime įvesti, kad ir nelabai efektyvius, statramsčių elementus.

5.2 T, Y, X tipo mazgų ašinės laikomosios galios nustatymas

Kadangi pasirinkta santvarinė konstrukcija yra simetrinė, tai tolesniuose tyrimuose nagrinėsime tik 29 paveiksle pavaizduotą dalį.



30 pav. Nagrinėjama santvaros dalis ir mazgai

Mazgai 2 ir 4 priklauso T tipo mazgams, remiantis 4.2 poskyryje pateiktomis nuostatomis išnagrinėsime 4-tojo mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmą ir palyginsime su pateiktuoju 4.1 poskyryje ("Santvaros 1" 2-ojo mazgo projektavimo rezultatai pateikti 3 priede, "Santvaros 2" – 4 priede).

Mazgą sudarančių santvaros elementų numeriai, matmenys ir reikiami dydžiai pateikiami 3 priedo 11 lentelėje.

11 lentelėje įvesties eilutėse įvedami mazgą sudarančių santvaros elementų numeriai, tuomet programa išveda profiliuočius, jų matmenis ir veikiančias įrąžas. Taip pat turime įvesti, su kuria santvaros juosta viršutine ar apatine norime skaičiuoti tinklelio elemento jungtį, tada programa pateikia tinklelio elemento posvyrio kampą.

Galima išskirti pagrindinius rodiklius, nuo kurių priklauso mazgo ašinė laikomoji galia, 4-tojo mazgo pagrindiniai rodikliai, laikomosios galios nustatymui pagal [19], pateikiami 3 priedo 12 lentelėje.

Mazgo laikomoji galia nustatoma pagal 4.6 lentelėje pateiktus skaičiavimo algoritmus, programa atliktų skaičiavimų rezultatai pateikiami 5.23 lentelėje.

Mazgo tipas	Projektinė laiko	mosios galios reikšmė kN			
T,X,Y mazgas su tarpu	I IOJEKINE Iaiko	mosios ganos reiksnie, kiv			
h _i	Juosto (praspat	s paviršiaus irtis ıdimas/išplėšimas)			
Ni		β1≤0,9			
bi		g/c1≤0,25			
θι	N _{1.Rd} , kN	47.71			
	Juostos šoninės sienelės klupimas				
		β1≤0,85			
b ₀	N _{1.Rd} , kN	Sąlygos tikrinti nereikia			
Ϋ́Υ Ι΄ Ι΄	R	amsčio irtis			
	k	1			
	N _{1.Rd} , kN	87.83			
Mažiausia laikamaii galia	Juostos paviršiaus				
Maziausia laikomoji gana:	irtis	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>			
N1.Rd, kN	47.71	Sąlyga tenkinama			

5.23 lentelė. "Santavaros 1" 4-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas

Iš 5.23 lentelėje pateiktų skaičiavimo rezultatų matome, kad pavojingiausias 4-tojo mazgo irties pobūdis yra juostos viršaus irtis, laikomosios galios pakankamumo sąlyga tenkinama, vadinasi iš pasirinktų profiliuočių mazgą suprojektuoti galima.

Suprojektuokime tą patį mazgą "Santvarai 2". Mazgo elementų matmenysi pateikiami 4 priedo 26 lentelėje.

Tikriname 4-tojo mazgo tinkamumo sąlygas pagal 4.1 ir 4.2 lentelėse pateikiamus reikalavimus. 5.24 lentelė. "Santvaros 2" 4-tojo mazgo tinkamumo sąlygos

Mazgo tipas					Т				
b_i/b_0	Tinklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.38		≥0,25		Sąlyga tenkinama		
Culi X I	T:1-1-1:1	1. /4 —	1.5		≤35		Sąlyga tenkinama		
Gniuzdymas	l'inklelio el.	$b_1/t_1 =$	15	<u> </u>	$1\sqrt{235/fyi} = 37.90$		Sąlyga tenkinama		
Tempimas	Tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	15.00		≤35		Sąlyga tenkinama		
h _o /t _o	luostos el	$h_0/t_0 =$	20		≤35		Sąlyga tenkinama		
00/00	5005005 01.	00/0	20	<u> </u>	≤41√235/fyi= 37.90		Sąlyga tenkinama		
			Papilo	domos	sąlygos				
β=	0.275	<u><</u>	0,85		Galima įvertinti tik juostos paviršiaus irtį ir tinklelio elemento irtį dėl sumažęjusio efektyviojo				
	0.375						pločio		
$b_0/t_0 =$	20	≥10	Galima įvertinti tik juostos paviršiaus irtį ir tinklelio elemento irtį dėl sumažęjusio efektyviojo pločio						

Nagrinėjamas mazgas tenkina ne tik 4.1 lentelėje, bet ir 4.2 lentelėje pateikiamas sąlygas, taigi pakanka patikrinti šio mazgo galimą irtį dėl juostos plastifikacijos ir dėl tinklelio elemento efektyviojo pločio sumažėjimo. Mazgo laikomosios galios nustatymo ir pakankamumo tikrinimo rezultatai pateikiami 5.25 lentelėje.

Mazgo tipas		Ska	aičiuotinė laikomoji galia		
T,X,Y mazgas	β	0,375			
	0,3	75	Juostos paviršiaus irtis, β≤0,85		
	n	0,756			
	k _n	0,49	54,60		
	β	1	Juostos šoninės sienelės klupimas,		
		λ	β=1,0		
	f _b , MPa	0,719	Nevertiname		
<u></u>		χ	N _{i,Rd} , kN		
a tini	196,09	0,713	315,66		
Ni	b _{eff} , m		Tinklelio elemento irtis, β≥0,85		
θ			Nevertiname		
	0,0	60	N _{i,Rd} , kN		
			246,4		
	γ	10,00	Juostos išplėšiamoji/praspaudžiamoji irtis, 0,85≤β≤(1-1/γ)		
	b _{ep} ,	m	Nevertiname		
	0.0)3	N _{i,Rd} , kN		
	0,0	15	230,09		
	Juos	stos	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>		
Mažiausia laikomoji galia:	paviršia β≤0	us irtis, ,85	Sąlyga tenkinama		

5.25 lentelė. "Santvaros 2" 4-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas

Iš programa atliktų skaičiavimo rezultatų matome, kad mazgo laikomoji galia yra pakankama. 5.25 lentelėje matome, kad vienintelė sąlygą, kurią reikėjo vertinti projektuojant pasirinktąjį mazgą yra juostos viršaus irtis, nors kitos sąlygos nevertinamos,tačiau laikomųjų galių vertės išvestos, jos daug didesnės nei nagrinėjamoji, juostos plastifikacijos atveju. Galime daryti išvadą, kad juostos laikomosios galios skaičiavimo atvejų apribojimas yra tikslingas ir tikslus, nes vertindami tik vieną sąlyga iš galimų keturių sutaupome laiko.

Netikslinga būtų lyginti "Santvaros 1" ir "Santvaros 2" 4-tojo mazgo laikomosios galios vertes, kadangi mazgą sudarantys elementai yra nevienodų matmenų, kas sąlygoja skirtingus veikiančiuosius rodiklius, kurių įtaka laikomosios galios nustatymui juostos plastifikacijos atveju nagrinėjama 6 skyriuje. Tačiau akivaizdu, kad esant nepakankamai mazgo laikomajai galiai abiem aptartais atvejais mazgo irtį sąlygotų profiliuočio juostos plastifikacija.

5.3 K ir N tipo mazgų laikomosios galios nustatymas

Nagrinėjamoje santvaros dalyje (žr. 29 pav.) K tipo mazgams priklauso 1, 3 ir 5 mazgai. Išnagrinėsime 1-ojo mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmus ("Santvaros 1" 3-ojo ir 5-ojo mazgų projektavimas pateiktas 3 priede, "Santvaros 2" - 4 priede). Kaip ir anksčiau aptartu 4-ojo
mazgo atveju, 1-ojo mazgo projektavimas pagal 4.2 poskyryje pateiktas nuostatas atliekamas kompiuterine programa. Nagrinėjamojo mazgo konstrukcinių elementų reikiami duomenys gaunami įvesties eilutėse įrašius elementų numerius,o posvyrio kampas įvedus, kad tinklelio elementai jungiami prie viršutinės santvaros juostos. "Santvaros 1" 1-ojo mazgo skaičiavimui reikiami duomenys pateikti 3 priedo 17 lentelėje.

Kadangi [19] metodikoje nenumatomas K tipo mazgo su užlaida projektavimas, tai turime sukonstruoti mazgą su tarpu tarp tinklelio elementų. Nagrinėjamosios santvaros modelyje priimama, kad tinklelio elementai prie santvaros juostų jungiami centriškai, todėl veikiančiųjų rodiklių lentelėje 5.26 tikrinama ar galima sukonstruoti tokį mazgą, jei ne tuomet pateikiama kokių matmenų turėtų būti santvaros juosta, kad galima būtų tinklelio elementus jungti centriškai, arba yra numatomas ekscentricitetas, nekeičiant pasirinktų santvaros konstrukcinių elementų prifiliuočių. Programoje minimalaus tarpo tarp tinklelio elementų sąlyga yra tapati pateiktai [7] normose, kadangi [19] nėra jokių reikalavimų šiam rodikliui.

Nagrinėjamuoju atveju projektuojame ekscentriškai jungiamų tinklelio elementų mazgą, priimdami programos siūlomas ekscentriciteto ir tarpo tarp tinklelio elementų vertes (žr. 5.26 lentelę).

Mazgo geometrinės sąlygos								
e	2g _{min} , m	2g	h _{0, rek} , m	g/c_1	g/c_2	e _{reik} , m		
0.005	0.0090	0.0096	0.140	0.022	0.033	0.005		
$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$\eta_2 = \beta_2 = b_2/b_0$	$c_1 = h_1 / sin \theta_1$, m	$c_2 = h_2 / \sin \theta_2$, m	γ 1(1)	γ ₁₍₂₎	γ_0		
0.857	0.714	0.215	0.144	1	1.2	0.998		

5.26 lentelė. "Santvaros 1" 1-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimui

Kadangi pagal 4.2 poskyryje pateikiamas nuostatas K tipo mazgai projektuojami, kiekviename tinklelio elemente, veikiančių įrąžų poveikiui, tai 5.27 lentelėje išvesties eilutėse pateikiamos kiekvieno tinklelio elemento apkrovos poveikį atitinkančios mazgo laikomosios galios vertės, iš kurių kiekvienai nagrinėjamai mazgo irčiai išvedama pavojingiausia, o iš pastarųjų ir pati pavojingiausioji.

5.27 lentelė.	" Santvaros	1" 1-ojo	mazgo laiko	omosios g	galios nustatymas
---------------	-------------	----------	-------------	-----------	-------------------

Mazgo tipas	Skaičiuotinė laikomosios galios reikšmė, kN			
K,N mazgas su tarpu				
	Juostos viršaus irtis (praspaudimas/išplėšimas)			
	β1≤0,9	β2≤0,9		
b_1 N_1 g N_2 b_2 b_2 b_2 b_2 b_2 b_2 b_2 b_2 b_3 b_4 b_4 b_5 b_5 b_6 b_7 b_8	g/c1≤0,25	g/c2≤0,25		
	N _{1.Rd} , kN	1773,68		
	N _{2.Rd} , kN	674,69		
	674,69	Pavojingiausia įrąža		
	Tinklelio	o elemento irtis		
	k	1		
	N _{1.Rd} , kN	sąlyga nevertinama		
	N _{2.Rd} , kN	278,86		
	278,86	Pavojingiausia įrąža		
Mažiausia laikomoji galia:	Tinklelio elemento irtis	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>		
N2.Rd, kN	278,86	Sąlyga tenkinama		

Iš 5.27 lentelėje pateikiamų duomenų matyti, kad 1-ajam mazgui pavojingiausia yra tempiamojo tinklelio elemento irties galimybė, iš pasirinktų profiliuočių sukonstruoto mazgo laikomoji galia yra pakankama.

Kaip ir 4-tojo mazgo atvejų projektuojant 1-ąjį mazgą pagal 4.1 pskyryje pateiktas nuostatas tikrinamos 4.1 ir 4.2 lentelėse pateiktos mazgo tinkamumo sąlygos. "Santvaros 2" 1-ojo mazgo laikomosios galios nustatymui reikiami konstrukcinių elementų dydžiai pateikiami 4 priedo 31 lentelėje, svarbiausieji rodikliai – 5.28, o tinkamumo ribų įvertinimas – 5.29 lentelėje.

5.28 lentelė. "Santvaros 2" 1-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimui

		g			g	>=g _{min}		
g _{min} , m	0.010	0.052	Sąlyga tenkinama				ama	
		Kad būtų ten	kinama 3.28					
e, m	0.0000	sąly	ga:	-0.088	$\leq e \leq$	0.04	Sąlyga tenkinama	
g _a	0.0385	Tikriname sąlygą:		g _a >1,51	t ₀ =	0.01	Sąlyga tenkinama	
β	0.5938							
γ	10.00		Reikia tikrinti juostą praspaudimui					
n	0.6772	k _n	0.8438	≤1				
TY /	001 + 1	· · · · · 1	1	1 1 1	•	• 1	· TZ /	

Iš 5.28 lentelės išvesties duomenų matome, kad galime suprojektuoti K tipo mazgą su tarpu, kuriame tinklelio elementai centriškai jungiami prie sanvaros juostos, kadangi tarpą nusakantis rodiklis tenkina jam keliamas mazgo tinkamumo ribas (žr. 5.29 lentelę).

5.29 lentelė. "Santvaros 2" 1-ojo mazgo tinkamumo ribos

Mazgo tipas	K su tarpu						
b _i /b ₀	$1 \text{ tipldalia al} \mathbf{b} / \mathbf{b} = -0.75$		≥0,35	Sąlyga tenkinama			
	i tilikiello el.	D_1/D_0-	0.75	$\geq 0,1+0,01\cdot b0/t0=0.3$	0 Sąlyga tenkinama		

	•		•			
	2 tinklolio al	h /h —	0.429	≥0,35		Sąlyga tenkinama
	2 tilikiello el.	$0_2/0_0$ —	0.438	≥0,1+0,01·b0/t0=	0.30	Sąlyga tenkinama
	1 tinklelio el	$h_t/t_t =$	20	≤35		Sąlyga tenkinama
Cniudumas	i unkieno er.	0]/t]-	20	≤41√235/fyi=	37.90	Sąlyga tenkinama
Ginudymas	2 tinklelio el	$h_{\rm c}/t_{\rm c} =$	17.5	≤35	-	Tinklelio elementas tempiamas
	2 thikieno er.	U_2/U_2	17.5	≤41√235/fyi=	37.90	Tinklelio elementas tempiamas
Tempimas	1 tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	20.00	≤35		Tinklelio elementas gniuždomasis
	2 tinklelio el.	$b_2/t_2 =$	17.50	≤35		Sąlyga tenkinama
h //		1. /4 —	20	≤35		Sąlyga tenkinama
U_0/t_0	juosios ei.	U_0/U_0-	20	≤41√235/fyi=	37.90	Sąlyga tenkinama
Tarnas	$q/h_0 =$		0.326	≥0,5(1-β)=	0.203	Sąlyga tenkinama
Tarpas	£/00		0.520	≤1,5(1 - β)=	0.609	Sąlyga tenkinama
			Pa	pildomos sąlygos		
β	≤0,6	ir	≤1,3	Reikia tikrinti visus galimus irties atvejus		
b ₀ /t ₀ =	20	≥15	Galima įvertinti tik juostos paviršiaus irtį ir tinklelio elemento irtį dėl sumažęjusio efektyviojo pločio			

Matome, kad šiuo atveju kitaip nei projektuojant 4-tąjį mazgą reikia tikrinti visus galimus mazgo irties atvejus, nes viena iš papildomų sąlygų yra netenkinama.

5.30 lentelė. "Santvaros 2" 1-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas

Mazgo tipas	Skojživotinė la	ikomosios galios raikšma kN
K,N mazgas su tarpu	Skalciuotille la	ikomosios ganos teiksme, kiv
t_1	Juos	tos paviršiaus irtis
b ₁ N ₁	N _{1.Rd} , kN	443.80
	N _{2.Rd} , kN	386.08
θ_1 θ_2	443.80	Pavojingiausia įrąža
	Juo	stos šlyjamoji irtis
	V _{pl.Rd} , kN	433.19
	V _{Ed} , kN	249.08
	A _v , m	0.0027
	α	0.1316
	$V_{Ed} > 0.5 V_{pl.Rd}$	Reikia skaičiuoti N0,Rd
	N _{0.Rd} , kN	1140.66
	N1.Rd, kN	1318.57
	Tink	lelio elemento irtis
	b _{eff1} ,m	0.080
	b _{eff2} ,m	0.07
		Tempiamų tinklelio
	N _{1.Rd} , kN	elementų nėra, irtis neįvyks
	N _{2.Rd} , kN	290.4

	290.4	Pavojingiausia įrąža
	Juostos išplėši	amoji/praspaudžiamoji irtis
	b _{ep1} ,m	0.060
	b _{ep2} ,m	0.035
	γ	10
	N _{1.Rd} , kN	833.02
	N _{2.Rd} , kN	379.03
	379.03	Pavojingiausia įrąža
Mažiausia laikomoji galia:	Tinklelio	
	elemento irtis	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>
N2.Rd, kN	290.40	Sąlyga tenkinama

Matome, kad kaip ir "Santvaros 1" taip ir "Santvaros 2" 1-ojo mazgo irtį sąlygotų tempiamo tinklelio elemento irtis, tačiau kaip ir 4-ojo mazgo atveju detalesnės lyginamosios laikomųjų galių analizės atlikti negalima, kadangi netikslinga būtų lyginti skaičiavimo rezultatus, kūrių pagridiniai parametrai skirtingi.

5.4 KT tipo mazgų laikomosios galios nustatymas

KT tipo mazgai yra patys sudėtingiausi, juos sunku suprojektuoti, be to, kaip buvo pastebėta, projektuojant santvaros statramsčių elementus, jie nėra labai efektyvūs, todėl geriau jei galima šių elementų nenaudoti, taip išvengiant KT tipo mazgų. [19] nepateikiami nurodymai šių mazgų projektavimui, todėl norint atlikti šių mazgų projektavimą buvo pasinaudota [7] nuorodomis, kad šie mazgai projektuojami, taip pat kaip ir K tipo mazgai tik įvertinant 4.6 ir 4.7 sąlygas. 29 paveiksle pateiktos nagrinėjamos santvaros dalies KT tipo mazgams priklauso 6 ir 7 mazgai. Atliksime 6-ojo mazgo projektavimą (7-ojo mazgo projektavimas peteikiamas 4 priede).

"Santvaros 1" 6-ojo mazgo laikomosios galios skaičiavimui reikalingi duomenys pateikiami 3 priedo 24 lentelėje, mazgo pagrindiniai rodikliai – 3 priedo 25 lentelėje.

3 priedo 25 lentelėje pateikiamuose rodikliuose 1-uoju tinklelio elementu priimamas 20-tasis elementas, o antruoju – 21-asis. Atitinkamai tarpo tarp tinklelio elementų ir ekscentriciteto žymenyse, *1* žymimas statramsčio ir 20-ojo tinklelio elemento sudaromas tarpas ar ekscentricitetas, o *2* žymimas statramsčio ir 21-ojo tinklelio elemento sudaromas tarpas ar ekscentricitetas.

Kaip ir 1-ojo mazgo atveju, 6-asis mazgas "Santvaroje 1" projektuojamas ekscentriškai jungiant tinklelio elementus prie santvaros juostos priimant minimalius tarpus tarp tinklelio elementų.

Mazgo tipas	Įrąžų pusiausvyros sąlyga KT mazgui					
Mazgo upas	Sąlyga tenkinama					
KT mazgas	Skaičiuot	inė laikomosios galios rei	kšmė, kN			
	Juostos virš	Juostos viršaus irtis (praspaudimas/išplėšimas				
	β1≤0,9	β2≤0,9	β3≤0,9			
	g1/c1≤0,25	g2/c2≤0,25				
	g1/c3≤0,25	g2/c3≤0,25				
	N _{1.Rd} , kN	468.07				
× A	N _{2.Rd} , kN	196.90				
	N _{3.Rd} , kN	65.06				
Non Non With	196.90 Pavojingiausia įrąža					
	Tinklelio elemento irtis					
	k 1					
	N _{1.Rd} , kN	262.63				
		Elementas gniuždon	nasis,sąlyga			
	$N_{2.Rd}$, kN	nevertinan	na			
		Elementas gniuždon	nasis salvoa			
	N _{3 Rd} , kN	nevertinan	na			
	262.63	Pavojingiausia	. įrąža			
Mažiausia laikomoji galia:	Juostos viršaus irtis (praspaudimas /išplėšimas)	Tikriname sąlygą:	N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>			
N2.Rd, kN	196.90	Sąlyga tenkin	iama			

5.31 lentelė. "Santvaros 1" 6-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas

Iš 5.31 lentelėje pateiktų skaičiavimo rezultatų matyti, kad pavojingiausia 6-ajam mazgui yra juostos paviršiaus irtis nuo 21-mame elemente veikiančios gniuždymo irąžos, tačiau mazgo laikomoji galia yra pakankama.

Projektuojame "Santvaros 2" 6-ąjį mazgą pagal 4.1 poskyryje pateiktus reikalavimus. Mazgo laikomajai galiai nustatyti reikiami parametrai pateikti 4 priedo 42 lentelėje, o svarbiausieji rodikliai 5.32 lentelėje.

5.32 lentelė.	" Santvaros 2"	⁶ -ojo mazgo	svarbiausieji ro	dikliai laikomosios	galios skaičiavimui
---------------	----------------	-------------------------	------------------	---------------------	---------------------

K	T	g	q	$g \ge g_{min}$				
g _{min} , m	0.007	-	0.007	Tinklelio elementai mazge persidengia				
g _{min} , m	0.008	- 0.029		Т	Tinklelio elementai mazge persidengia			
		Kad būtu tenkinama 3.28						
e ₁ , m	0.000	sąlyga:		-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga tenkinama	
		Kad būtų tenkinama 3.28						
e ₂ , m	0.000	sąlyga:		-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga tenkinama	
\mathbf{g}_{a1}	-	Tikriname sąlygą:		g _a >1,51	t ₀ =	0.01	Sąlyga tenkinama	
g _{a2}	-	Tikriname sąlygą:		$g_a>1,5t_0=$ 0.01 Sąlyga tenkinama		Sąlyga tenkinama		
β	0.5833	Reikia tikrinti juostą praspaudimui						

γ	7.50			
n	0.3839	k _n	1.0000	≤1

Iš 5.32 lentelėje pateiktų duomenų matome, kad jungiant tinklelio elementus centriškai prie santvaros juostos KT tipo mazgo su tarpu suprojektuoti negalime, pabandykime suprojektuoti KT tipo mazgą su tarpu jungiant tinklelio elementus su tam tikru ekscentricitetu, priimant minimalias tarpo tarp tinklelio elementų reikšmes.

5.33 lentelė. " Santvaros 2" 6-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimui, prokeltuojant KT tipo mazgą su tarpu

KT su	ı tarpu	g	q				g>=g _{min}		
g _{min} , m	0.007	0.017	-			Sąly	ga tenkinama		
g _{min} , m	0.008	0.017	-		Salyga tenkinama				
		Kad būtų tenkin							
e ₁ , m	0.019	sąlyga:	-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga tenkinama			
		Kad būtų tenkin							
e ₂ , m	0.046	sąlyga:	-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga netenkinama			
g _{a1}	0.0120	Tikriname sa	ąlygą:	g _a >1,5	$t_0 =$	0.01	Sąlyga tenkinama		
g _{a2}	0.0120	Tikriname sa	ąlygą:	$g_a > 1,5t_0 = 0.01$			Sąlyga tenkinama		
β	0.5833		Pail	rio tikrinti i	iu osta i	ragnau	dimui		
γ	7.50				juostą j	Jiaspau			
n	0.3839	k _n	1.0000				<u>≤</u> 1		

Iš 5.33 lentelėje pateikiamų duomenų matome, kad KT tipo mazgo su tarpu suprojektuoti neglalime, kadangi netenkinama minimalių ekscentricitetų sąlygą, vadinasi norint projketuoti tokį mazgą reiktų įvertinti lenkiamuosius momentus, susidariusius dėl ekscentriško tinklelio elementų jungimo mazge. Kadangi [7] pateikia ir KT mazgų su užlaida laikomosios galios skaičiavimo algoritmus, tai galime išvengti lenkiamųjų momentų vertinimo, priimdami, kad "Santvaros 2" 6-ąjį mazgą projaktuosime su užlaida. 5.34 lentelėje pateikiami svarbiausieji rodikliai mazgo projektavimui.

5.34 lentelė. " Santvaros 2" 6-ojo mazgo svarbiausieji rodikliai laikomosios galios skaičiavimui, prokeltuojant KT tipo mazgą su užlaida

		g	q			g>	-g _{min}			
g _{min} , m	0.008	-	0.028	-	Finkleli	o elementa	ai mazge persidengia			
g _{min} , m	0.009	-	0.039		Finkleli	ai mazge persidengia				
		Kad būtų tenkin	ama 3.28							
e ₁ , m	-0.009	sąlyga:	-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga tenkinama				
		Kad būtų tenkin								
e ₂ , m	0.000	sąlyga:	-0.066	≤e≤	0.03	Sąlyga tenkinama				
g_{a1}	-	Tikriname sa	lygą:	g _a >1,5	t ₀ =	0.012	Sąlyga tenkinama			
g_{a2}	-	Tikriname sa	ılygą:	g _a >1,5	t ₀ =	0.012	Sąlyga tenkinama			
β	0.6389		Polkie tikrinti juosta prograudimui							
γ	7.50		Ke		juosią	praspauun	11µ1			

n 0.3839 k_n 1.0000 ≤ 1	n	0.3839	$\mathbf{k}_{\mathbf{n}}$	1.0000	≤1
--------------------------------	---	--------	---------------------------	--------	----

Mazgo tipas		K s	u užlaida, [i=1 arba 2, j= ι	ıždengia	amasis elementas]
	1 tinklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.58	≥0,25		Sąlyga tenkinama
b_i/b_0	2 tinklelio el.	$b_2/b_0 =$	0.750	≥0,25		Sąlyga tenkinama
	3 tinklelio el.	$b_3/b_0 =$	0.417	≥0,25		Sąlyga tenkinama
	1 tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	17.5	≤36√235/fyi=	33.28	Tinklelio elementas tempiamas
Gniudymas	2 tinklelio el.	$b_2/t_2 =$	18.0	≤36√235/fyi=	33.28	Sąlyga tenkinama
	3 tinklelio el.	$b_3/t_3 =$	16.7	≤36√235/fyi=	33.28	Sąlyga tenkinama
Tempimas	1 tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	17.50	≤35		Sąlyga tenkinama
	2 tinklelio el.	$b_2/t_2 =$	18.00	 ≤35 T:		Tinklelio elementas gniuždomasis
	3 tinklelio el.	$b_3/t_3 =$	16.67	≤35		Tinklelio elementas gniuždomasis
b ₀ /t ₀	juostos el.	$b_0/t_0 =$	15	≤41√235/fyi=	37.90	Sąlyga tenkinama
	1 tinklelio el.	$f_{1y} \cdot t_1$	1100	bj	b _i /b _i	≤0,75
b_i/b_j	2 tinklelio el.	$f_{2y} \cdot t_2$	1375	bj	0.71	Sąlyga netenkinama
	3 tinklelio el.	$f_{2y} {\cdot} t_3$	825	bi	0.56	Sąlyga netenkinama
Užlaida	q ₁ , m	e ₁ , m	2	25.00%	≥25%	Sąlyga tenkinama
Uzialua	0.028	-0.017	$\Lambda_{\rm OV}$	23.0070	≤100%	Sąlyga tenkinama
Užlaida	q ₂ , m	e ₁ , m	λ	25.00%	≥25%	Sąlyga tenkinama
Ozialda	0.032	-0.003	10 _{0V}	25.0070	<100%	Salyga tenkinama

C 2 C 1 / 1.	O (· ·		. 1	1
1 11 lentele	Santvaros 7"	6-010	mazon	tinkamumo	Salvoos
J.JJ Iontolo	$_{,,0}$ and $_{105}$	0-010	mazgo	unikamunio	Sarygus
	,,	5	<u> </u>		

Iš 5.35 matome, kad netenkinama uždengiamojo ir uždengiančiojo elementų skerspjūvio pločių santykio sąlyga, šiuo atveju nėra kitos išeities kaip tik keisti statramsčio elemento profiliuočio matmenis, antrajam iteraciniam skaičiavimui, 32-ajam elementui priskiriame 70x70x4 matmenų profiliuotį.

5.36 lentelė. "Santvaros 2" 6-ojo mazgo tinkamumo sąlygos (antrasis iteracinis skaičiavimas)

Mazgo tipas		K sı	ı užlaida, [i	=1 arba 2, j= u	ždengia	masis elementas]
	1 tinklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.58	≥0,25		Sąlyga tenkinama
b_i/b_0	2 tinklelio el.	$b_2/b_0 =$	0.750	≥0,25		Sąlyga tenkinama
	3 tinklelio el.	K su užlaida, [i=1 arba 2. nklelio el. $b_1/b_0 =$ 0.58 \geq nklelio el. $b_2/b_0 =$ 0.750 \geq inklelio el. $b_3/b_0 =$ 0.583 \geq inklelio el. $b_3/b_0 =$ 0.583 \geq inklelio el. $b_1/t_1 =$ 17.5 $\leq 36\sqrt{235/}$ inklelio el. $b_2/t_2 =$ 18.0 $\leq 36\sqrt{235/}$ inklelio el. $b_3/t_3 =$ 17.5 $\leq 36\sqrt{235/}$ inklelio el. $b_3/t_3 =$ 17.50 \leq inklelio el. $b_1/t_1 =$ 17.50 \leq inklelio el. $b_2/t_2 =$ 18.00 \leq inklelio el. $b_3/t_3 =$ 17.50 \leq inklelio el. $b_1/t_1 =$ 17.50 \leq inklelio el. $b_1/t_1 =$ 17.50 \leq inklelio el. f_{1y} ·t_1 1100 bj inklelio el. f_{2y} ·t_2 1375 bj inklelio el. f_{2y} ·t_3 1100 bi	≥0,25		Sąlyga tenkinama	
	1 tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	17.5	≤36√235/fyi=	33.28	Tinklelio elementas tempiamas
Gniudymas	2 tinklelio el.	$b_2/t_2 =$	18.0	≤36√235/fyi=	33.28	Sąlyga tenkinama
T	3 tinklelio el.	$b_3/t_3 =$	17.5	≤36√235/fyi=	33.28	Sąlyga tenkinama
Tempimas	1 tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	17.50	<u>≤</u> 35		Sąlyga tenkinama
	2 tinklelio el.	$b_2/t_2 =$	18.00	≤35		Tinklelio elementas gniuždomasis
	3 tinklelio el.	$b_3/t_3 =$	17.50	≤35		Tinklelio elementas gniuždomasis
b ₀ /t ₀	juostos el.	$b_0/t_0 =$	15	≤41√235/fyi=	37.90	Sąlyga tenkinama
	1 tinklelio el.	$f_{1y} {\cdot} t_1$	1100	bj	b _i /b _i	≥0,75
b_i/b_j	2 tinklelio el.	$f_{2y} {\cdot} t_2$	1375	bj	1.00	Sąlyga tenkinama
	3 tinklelio el.	$f_{2y} {\cdot} t_3$	1100	bi	0.78	Sąlyga tenkinama
Užlaida	q ₁ , m	e ₁ , m	$\lambda_{\rm ov}$	25.00%	≥25%	Sąlyga tenkinama

	0.028	-0.009			≤100%	Sąlyga tenkinama
Užlaida	q ₂ , m	e ₁ , m	2	30.36%	≥25%	Sąlyga tenkinama
	0.039	0.000	$\lambda_{\rm ov}$		≤100%	Sąlyga tenkinama

5.37 lentelė. "Santvaros 2" 6-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas

Mazza tinas	Papildomo	s sąlygos KT mazgui					
Mazgo upas	Sąly	vga tenkinama					
KT mazgas su užlaida	Skaičiuotinė laikomosios galios reikšmė, kN						
	Tinklelio eleme	ento irtis, 25%≤λ₀v<50%					
	N _{i.Rd} , kN	189.20					
्रा	b _{eff} , m	0.070					
	b _{e,ov} , m	0.040					
Nisa Nisa	Tinklelio eleme	ento irtis, 50%≤λ₀v<80%					
Nin V	N _{i.Rd} , kN	-					
	b _{eff} , m	0.070					
	b _{e,ov} , m	0.040					
Nard PHPI	Tinklelio elemento irtis, $\lambda_{ov} \ge 80\%$						
10	N _{i.Rd} , kN	-					
	b _{eff} ,m	0.070					
	b _{e,ov} , m	0.040					
Mažiausia laikamaii galiat		Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>					
189.20	Tinklelio elemento irtis, 25%≤λov<50%	Sąlyga tenkinama					

KT mazgų su užlaida laikomosios galios nustatyme, analizuojama tik uždengiančiojo elemento laikomoji galia bei papildomos sąlygos [7].

5.38 ir 5.39 lentelėse pateikiama "Santvaros 1" ir "Santvaros 2" mazgų projektavimo suvestinė.5.38 lentelė. "Santvaros 1" mazgų projektavimo suvestinė

Mazgo Nr.	Mazgo tipas	Veikiančios įrąžos (kN)	Mazgo ašinė laikomoji galia (kN)	Pavojingiausia irties forma Tarpas (užlaida) tarp tinklelio elementų (m)		Ekscentricitetas (m)	Laikomosios galios išnaudoji koeficientas
1	K	275,575	278,86	Tinklelio elemento irtis	0,0096	0,005	0,988
2	Y	46,035	57,84	Juostos plastifikacija	-	0	0,796
3	K	88,372	132,22	Tinklelio elemento irtis	0,008	-0,02	0,668
4	Y	47,173	47,71	Juostos plastifikacija	-	0	0,989
5	K	45,852	131,4	Juostos plastifikacija	0,006	-0,029	0,349
6	KT	180,885	196,6	Juostos plastifikacija	0,006/0,008	0,0194/0,0196	0,920
7	KT	47,173	65,06	Juostos plastifikacija	-0,0036/0,0038	0,006/0,006	0,725

Mazgo Nr.	Mazgo tipas	Veikiančios įrąžos (kN)	Mazgo ašinė laikomoji galia (kN)	Pavojingiausia irties forma	Tarpas (užlaida) tarp tinklelio elementų (m)	Ekscentricitetas (m)	Laikomosios galios išnaudoji koeficientas
1	K su tarpu	278,493	290,4	Tinklelio elemento irtis	0,052	0	0,959
2	Y	42,614	82,94	Juostos plastifikacija	-	0	0,514
3	K su tarpu	187,208	267,8	Tinklelio elemento irtis	0,066	0	0,699
4	Y	48,599	54,6	Juostos plastifikacija	-	0	0,890
5	K su tarpu	43,673	279	Juostos plastifikacija	0,058	0	0,157
6	KT su užlaida	42,614	189,2	Tinklelio elemento irtis	0,028/0,039	-0,009/0	0,225
7	KT su užlaida	48,599	160,91	Tinklelio elemento irtis	0,025/0,031	-0,005/0	0,302

5.39 lentelė. "Santvaros 2" mazgų projektavimo suvestinė

Iš lentelėse pateikiamų mazgų projektavimo rezultatų matyti, kad mazgai suprojektuoti pagal [19] efektyvesni nei pagal [7] laikomosios galios ir veikiančios įrąžos atžvilgiu. Tai galima paaiškinti, tuo, kad "Santvaros 1" profiliuočių matmenys mažesni nei "Santvaros 2", bei tuo, kad KT tipo mazgų su užlaida laikomoji galia gaunama didesnė nei projektuojant tokius mazgus su tarpu.

6. SANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ MAZGŲ ELGSENOS ANALIZĖ

Esant skirtingiems anksčiau suprojektuotų santvarinių konstrukcijų elementų matmenims, kurie daro poveikį svarbiausiems rodiklius, mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmuose, netikslinga buvo atlikti lyginamąją analizę.

Lyginamajai analizei pasirinktos tik svarbiausių rodiklių reikšmės. Juostos profiliuočio plonasieniškumą charakterizuojantis parametras γ , kinta 160x160 matmenų vamzdžio, LST EN 10219 standartu paremto sortimento, pateikiamų reikšmių ribose. Rodiklio β priklausančio nuo juostos ir tinklelio elemento pločių santykio reikšmės gaunamos, atitinkamai pasirinkus santvaros juostai prifiliuotį 160x160x6, o tinklelio elementams, atitinkamas pagal charakteringas šio rodiklio reikšmes. Lyginamosios analizės nepriklausomu lyginamuoju dydžiu priimamos 2.1.1 poskyryje aprašytu metodu gaunamos mazgo laikomosios galios reikšmės.

6.1 Y tipo mazgo laikomosios galios juostos plastinės irties atveju lyginamoji analizė

Y tipo mazgo laikomosios galios juostos plastinės irties atveju skaitinės lyginamosios analizės rezultatai pateikiami 5 priede. Analizė atliekama dviem etapais, skaičiuojant mazgo laikomąją galią

nevertinant santvaros juostos įrąžų įtakos, pagal [7] išreiškiamos koeficientu k_n , o pagal [19] - γ_0 ir ją įvertinant.

Pirmosios analizės atveju gatų mazgo laikomųjų galių priklausomybės nuo rodiklio γ , esant atitinkamam santvaros juostos ir tinklelio elemento skerspjūvių pločių santykiui, rodikliui - β pateikiamos 31-35 paveiksluose.



31 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



32 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



33 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



34 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



35 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų

Kaip, kad galima buvo numanyti nepriklausomai nuo rodiklio β reikšmės mazgo laikomoji galia juostos plastifikacijos atveju didėja mažėjant rodiklio γ reikšmei. Tai nesunku paaiškinti, kadangi kuo mažesnė parametro γ reikšmė tuo storesnė tuščiavidurio profiliuočio sienelė, tuo sunkiau ji deformuojasi, vadinasi tikslinga, kad laikomoji galia mažėja.

Matome, kad laikomosios galios skaičiuojamos pagal [7] pateikiamus algoritmus ir pagal analitinį metodą korealiacija yra gan gera ypač didėjant rodiklio β reikšmei, tai taip pat gan tikslinga, kadangi kuo mažesnės rodiklio β reikšmė tuo siauresnė tinklelio elemento profiliuočio juosta, tuo mažesnė juostos paviršiaus plastifikacijos galimybė, kadangi griaučiau gali įvykti juostos praspaudžiamoji ar išplėšiamoji irtis.

35 paveiksle pateiktame juostos laikomųjų galių pasiskirstyme matome, kad pakinta kreivės charakteris, tai galimo sienelės klupumo įtaka, kadangi esant pateiktai rodiklio β reikšmei reikėtų įvertinti ir šią irties formą.

Matome, kad nepaisant tokio paties kreivės charakterio laikomųjų galių apskaičiuotų pagal [19] reikšmės nekorealiuoja su apskaičiuotomis pagal [7] ir analitinį metodus. Jei atkreiptume dėmesį į tai, kad laikomųjų galių santykis apskaičiuotų pagal [7] ir pagal [19] yra pastovus (žr. 5 priedą). Tai galima paaiškinti išanalizavus laikomosios galios skaičiavimo algoritmus.

$$a)N_{i,Rd} = \frac{f_y \cdot t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right) k_n / \gamma_{M5} \quad b)N_{i,Rd} \le \frac{\gamma_c \gamma_1 \gamma_0 f_{y,d} t_0^2 (\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 2\sqrt{1-\beta})}{(1-\beta) \cdot \sin\theta_i}$$

čia: išraiška a) [7] pateikiamas mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmas; išraiška b) [19] pateikiamas mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmas.

Matome, kad nepaisant papildomų koeficientų, be to šios analizės metu koeficientai įvertinantys įrąžas santvaros juostoje nevertinami, algoritmai skiriasi tik viena konstanta prie šaknies ženklo, išraiškoje b ji 2 kartus mažesnė. Galima manyti, kad skaičiavimo algoritmai buvo išvesti remiantis ta pačia takumo linijos teorijos modifikacija aprašyta 2.1.2 poskyryje. Jei išraiškoje 2.18.1 rašydami nelygybę išprastintume daugiklius-2, kas matematikoje iš tiesų nagalima, gautume išraišką-b. Tačiau jei priimsime, kad analitinis metodas aprašytas 2.1.1 yra analizės pagrindas, tai teisinga būtų išraiška-a.



36 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų

Pagal 36 paveiksle pateikiamas kreives matome, kad geriausia laikomųjų galių korealiacija kai rodiklio β reikšmė kinta ribose tarp 0,45-0,77.

Paveiksluose 37 – 41 pavaizduotos kreivės charakterizuojančios mazgo laikomosios galios priklausomybę nuo rodiklio γ , įvertinant santvaros juostos įrąžas.



37 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



38 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



39 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



40 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



41 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas

Matome, kad įvertinus santvaros juostos įrąžas, korealiacija tarp laikomosios galios skaičiavimo pagal [7] ir analitiniu metodu pagerėjo. Nors analitiniame skaičiavimo algoritme nėra tiesiogiai vertinamos santvaros elemente veikiančios įrąžos, tačiau skaičiavimo algoritmas pagrįstas santvaros juostos elemento charakteristikomis. Iš 38-40 paveikslų matome, kad pagal [7] nuostatus atliktų laikomųjų galių reikšmės yra mažesnės nei pagal analitinį metoda, tai įrodo, kad koeficiento k_n įvedimas laikomąjai galiai suteikią tam tikrą atsargą lyginant su analitiu metodu.



42 pav. Mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas

Iš 42 paveikslo matyti, kad irąžas santvaros juostoje įvertinančio koeficiento įvedimas praplėtė kreivių gautų mazgo laikomąją galią skaičiuojant pagal [7] ir analitiniu metudu korealiacijos ribas.

6.2 K su tarpu tipo mazgų laikomosios galios juostos plastinės irties atveju lyginamoji analizė

Kaip ir Y tipo mazgui, K tipo mazgo laikomųjų galių analizė buvo atliekama priklausomai nuo rodiklių γ ir β , analizės pagrindu priimant analitiniu metodu gautas laikomosios galios reikšmes.



43 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



44 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



45 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų



46 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei, nevertinant juostos įrąžų

Šuo atveju sudėtingiau įvertinti, kuris skaičiavimo algoritmas yra tikslesnis, kadangi tiek pagal [19], tiek pagal [7] gautų rezultatų kreivės pavidalo išraiška panašiai korealiuoja su analitiniu metodu. Jei panagrinėtume pačius skaičiavimo metodus, nors abu šiuo atveju yra pusiau empiriniai, kadangi yra įvesta bandymų metu gautų pataisos skaitinių reikšmių, tačiau [19] pateikiamas skaičiavimo metodas apima dagiau mazgą charakterizuojančių dydžių. Palygine 4.6 ir 4.7 lentelėse pateikiamas mazgo laikomosios galios nustatymo išraiškas galime daryti prielaidą, kad jos išvestos remiantis ta pačia 2.1.2 poskyryje pateikiama takumo linijos teorijos modifikacija. Neapaisant 4.6 lentelėje pateikiamos laikomosios galios iraiškos papildymo konstantomis, ji yra tokia pati kaip 4.7 tik papildyta tarpo tarp tinkelio elementų reikšme, kuri apribojama santykiu: $\frac{g \cdot \sin \theta_i}{2b} \le 0.25$, kai

santykis viršyja 0,25 reikšmę 4.6 lentelėje pateikiamas skaičiavimo algoritmas įgyja 4.7 lentelėje pateikiamą pavidalą.

Iš 6 priede pateikiamų skaitinių analizės rezultatų matome, kad esant mažesnei rodiklio β reikšmei mazgo laikomosios galios reikšmė gauta skaičiuojant pagal [7] yra didesnė nei pagal [19], kas atsižvelgiant į mazgo deformavimosi charakterį (žr. 6.4) nėra tikslinga.



47 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei, neįvertinant juostos įrąžų

Iš 47 paveikslo matyti, kad pagal [7] skaičiuojama laikomoji galia tiesiogiai priklauso nuo rodiklio β. Kreivių gautų pagal [19] ir skaičiavimo analitiniu metodu charakteris panašus, iš ko galime daryti prielaidą, kad yra sąsaja tarp skaičiavimo algoritmams naudojamų analitinių modelių.

Paveiksluose 48-52 pateikiama pakartotinė K su tarpu mazgo lyginamoji analizė, tik šiuo atveju įvertinus santvaros juostos įrąžų įtaką.



48 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,3125$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



49 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



50 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



51 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės γ kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas



52 pav. K tipo mazgo laikomosios galios rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei, įvertinant juostos įrąžas

Iš 48-51 paveikslų matome, kad įvertinus santvaros juostos įrąžas korealiacija tarp [7] ir analitiniu metodu gautų rezultatų pastebimai pagerėjo. Iš to galime daryti išvadą, kad bandymų rezultatais remiantis atliktos skaičiavimo algoritmo pataisos turi didelią įtaką skaičiavimo rezultatų tikslumui. Nepaisant to, kad bandymo rezultatais gautų skaitinių ir funkcinių reikšmių įvedimas mažina skaičiavimo algoritmo analitinį pagristumą, jos yra tikslingos, kadangi remiantis netiesine santvaros elemento elgsena mazge (žr. 6.5 poskyrį), analitinis skaičiavimo modelis būtų sunkiai pritaikomas naudojimui.

Pagal [19] gautų rezultatų sumažėjusią korealiaciją su analitiniu metodu gautomis reikšmėmis, galime paaiškinti, tuo, kad [19] pateikiamoje santvaros juostos įražų funkcijoje atsižvelgiama, tik į ašinę jėgą, neįvertinant tikrojo gniuždomojo lenkiamojo elemento darbo.

6.3 T, X, Y tipo mazgų laikomosios galios sienelės vietinio klupumo irties atveju lyginamoji analizė

Remiantis rodikliais β ir γ atlikta laikomųjų galių skaičuojamų pagal [7] ir [19] pateikiamus algoritmus lyginamoji analizė, skaitiniai analizės rezultatai pateikiami 6 priede. Nors skaičiavimo algoritmai tiesiogiai nepriklauso nuo minėtų rodiklių reikšmių, tačiau skaičiavimo algoritmų naudojimo ribos apibrėžiamos būtent šių rodiklių reikšmėmis. Negalima paneigti to, kad profiliuočio plonasieniškumas yra pagrindinis veiksnys darantis poveikį sienelės klupumui, todėl ištirti laikomosios galios priklausomybę nuo rodiklio γ yra tikslinga.



53 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0.3125$ reikšmei



54 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,5$ reikšmei



55 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,625$ reikšmei



56 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei



57 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 0.875$ reikšmei



58 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju priklausomybė nuo santvaros juostos profiliuočio plonasieniškumo, esant rodiklio $\beta = 1,0$ reikšmei



59 pav. Y tipo mazgo laikomųjų galių sienelės klupumo irties atveju rodiklinės β kreivės, esant rodiklio $\gamma = 10$ reikšmei

Iš 53-58 paveikslų matyti, kad kreivė gauta pagal [19] atliktus skaičiavimo rezultatus yra artima tiesei, iš to galime daryti išvadą, kad laikomosios galios reikšmė nežymiai priklauso nuo tuščiavidurio profiliuočio plonasieniškumo, kas nėra tikslinga.

Iš 6 priede pateikiamų lyginamosios analizės skaitinių rezultatų matyti, kad kai santvaros juostos elementas gali būti traktuojamas kaip plonasienis profiliuotis, jo laikomoji galia skaičiuojant pagal [7] gauta nuo 50 iki 20 % mažesnė nei skaičiuojant pagal [19], o esant storasieniam prifiliuočiui rezultatai priešingi, kas parodo skaičiavimo algoritmo pagal [19] neatitikima elemento elgsenos mazge ypatumams (žr. 6.5 poskyrį).

Iš 59 paveikslo matome, kad rodiklio įtaka laikomųjų galių skaičiavimui yra tiesinė, ir jo įtaka laikomosios galios vertėms yra tokia pati, kadangi ji algoritmuose išreiškiama daugikliu: $2b_i / \sin \theta_i$.

6.4 Įtempių ir deformacijų pasiskirstymo santvaros juostoje, kaip Y tipo mazgo konstrukciniame elemente analizė

Atlikus Y tipo mazgų elgsenos analizę, baigtinių elementų kompiuterine programa *Cosmos.Works*, ir pažvelgus į mazgo deformuotą schemą (žr. 65 paveikslą) kyla klausimas ar tikslinga sienelės klupumą vertinti tik kai rodiklis β pasiekia reikšmę lygią 1,0 [7]. Tuo remiantis buvo atlikta mazgo elementų elgsenos analizė rodiklį β priimant svarbiausiu ir kintant ribose nuo 0,75 iki 1,0.

Analizei priimta mazgo skaičiuojamoji schema pateikta 7 priede, įrąžos santvaros juostos elemente nevertinamos, o apkrovos reikšmė tinklelio elemente analizės metu nekeičiama. Santvaros juostos vamzdinio elemento sienelės ir juostos elgseną charakterizuojančios įtempių deformacinės kreivės pateikiamos 60-61 paveiksluose.



60 pav. Įtempių deformacinės kreivės vamzdžio juostoje



61 pav. Įtempių deformacinės kreivės vamzdžio sienelėje

Iš 60 paveikslo matyti, kad kuo rodiklio β reikšmė mažesnė, tuo sudėtingesnis įtempių ir deformacijų pasiskirstymas juostoje. Kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,75$, dalyje kol pasiekiama 0,0025 santykinės deformacijos reikšmė įtempiai stipriai atsilieka nuo deformacijų, tai parodo, kad esant storasieniam santvaros profiliuočiui juostos paviršius deformuojasi nekintant apkrovimui – plastiškai. Esant plonasieniam santvaros juostos profiliuočiui jo itempimų ir deformacijų pasiskirstymas artimas tampraus kūno tiesiškam įtempių ir deformacijų pasiskirstymui, kreivės dalis tarp 0,0025 ir 0,0035 santykinės deformacijos reikšmių. Kita vertus ši kreivės dalis remiantis idealiai tamprios – plastinės medžiagos savibių modeliu, gali būti traktuojama kaip tiesiškai stiprėjanti. Kreivės dalis tarp 0,002 ir 0,0025 santykinių deformacijų reikšmių galėtų būti traktuojama kaip liekamosios deformacijos juostoje.

Kreivės gautos esant rodiklio β reikšmei 0,875 ir 1,0 artimos *Prantlio diagramai* tampriai plastiniam kūnui. Iš 60 paveikle pateikiamų kreivių pavidalo, galime daryti išvadą, kad tuščiavidurio profiliuočio juostos plastinės irties atveju mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmams būtų tikslinga taikyti netiesinės analizės principus. Taip pat remiantis šiomis diagramomis galime teigti, kad pagal [7] profiliuočių skirstymas į klases ir laikomosios galios skaičiavimas pagal plastinės analizės principus, gerokai praplečia elemento darbo apimtis.

Iš 61 paveikslo matome, kad profiliuočio sienelės įtempių ir deformacijų diagrama esant parametro β reikšmei lygiai 0,75 panaši į juostos, tačiau deformacijos mažesnės, todėl analizuojant profiliuočio kaip vientiso elemento elgseną galime teigti, kad juostos plastinė irtis yra labiau tikėtina nei sienelės klupumas.

Paveiksluose 62-64 pateikiamos santykinių deformacijų profiliuočio juostoje ir sienelėje profiliuočio plonasieniškumo rodiklinės kreivės.



62 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,75$ reikšmei



63 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio $\beta = 0,875$ reikšmei



64 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės plonasieniškumo kreivės, esant rodiklio $\beta = 1,0$ reikšmei

Iš pateiktų diagramų matyti, kad mazgo laikomosios galios apribojimas rodiklio β reikšmėmis yra tikslingas, kai jo vertė 0,75 profiliuočio sienelės klupumo irties galimybės tikrinimas neturi prasmės, kadangi santykinės deformacijos juostoje ženkliai didesnės nei sienelėje. Kai rodiklio β reikšmės kinta nuo 0,875 iki 1,0 yra tikymybė, kad juostos plastifikacija, gali pasireikšti kartu su sienelės klupumu, priklausomai nuo profiliuočio plonasieniškumo, skirtumas tarp santykinių deformacijų deformacijų gali siekti tik 4 % (žr. 7 priedo 71 lentelę).

6.5 Įtempių ir deformacijų pasiskirtymo santvaros juostoje, kaip K tipo mazgo konstrukciniame elemente analizė

Kaip ir Y tipo mazgo atveju atlikta įtempių ir deformacijų pasiskirstymo santvaros juostos tuščiavidurio profiliuočio struktūriniuose elementuose: juostoje ir sienelėje analizė. Analizei buvo pasinaudota kompiuterine programa *Cosmos.Works*, mazgo skaičiuojamoji schema pateikta 8 priede. Dėl vizualiai didelių profiliuočio struktūrinių elementų deformacijų (žr. 65 pav.), analizuojama ar tikslinga nustatant mazgo minimalią laikomają galią neatsižvelgti į sienelės klupumą (žr. 4.4 lentelę).



65 pav. K tipo mazgo deformuota schema



66 pav. Įtempių deformacinės kreivės profiliuočio juostoje



67 pav. Įtempių deformacinės kreivės profiliuočio sienelėje

Iš 66 paveikslo matome, kad kai santvaros juostos elementas priskiriamas plonasieniui profiliuočiui, jo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas tiesinis. Storasienio profiliuočio atveju deformacijos stipriai atsilieka nuo įtempių. Kadangi storasieniai profiliuočiai priklauso 1 arba 2 klasėms pagal [6], remiantis kreivių pavidalu tikslinga, kad laikomosios galios nustatymui remiamasi plastine analize.

Vamzdžio sienelės itempių deformacinės kreivės artimesnės *Prandlio diagramai*. Staigiai krintanti dalis, kuri sąlygotų trapią elemento irtį nėra charakteringa, kadangi rodiklio $\gamma = 16$, reikšmė, gaunama, kai profiliuotis priklauso 4 klasei, t.y skerspjūviams su klumpamaja dalimi, šios reikšmės taikymas analizei nėra visiškai tikslingas, kadangi šios klasės profiliuočių naudojimas konstruojant mazgus yra apribotas mazgo tinkamumo sąlygomis.

66 ir 67 paveiksluose pateikiamos diagramos patvirtina tiklingą plastinės analizės panaudojimą mazgo laikomosios galios nustatymo algoritmuose (žr. 4.1 lentelę).



68 pav. Įtempių rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0.5$



69 pav. Įtempių rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,75$

Paveiksluose $\sigma_{c,t.el,j}$ – įtempiai gniuždomajame tinklelio elemente kontakto su juosta vietoje, $\sigma_{c,t.el}$ – maksimalūs įtempiai gniuždomajame tinklelio elemente.

Iš 68 ir 69 paveiksluose pateikiamų įtempių rodiklinių plonasieniškumo kreivių matome, kad tinklelio elemento irtis K tupo mazge yra tiek pat tikėtina kaip ir juostos plastinė irtis. Remiantis šiomis diagramomis galime teigti, kad tikslinga neatsižvelgti į sienelės klupumo ir tinklelio elemento vietinio klupumo irties atvejus, kai nustatoma 4.1 lentelės salygas tenkinančių mazgų laikomoji galia.



70 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,3125$



71 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0.5$



72 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,625$



73 pav. Santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės, kai rodiklis $\beta = 0,75$

70-73 paveiksluose pateiktos santykinių deformacijų rodiklinės γ kreivės profiliuočio juostoje ir sienelėje tik patvirtina, tai, kad sienelės klupumo vertinimas, skaičiuojant K tipo mazgo laikomąją galią, yra betikslis. Iš 8 priede pateikiamos skaitinės analizės rezultatų matyti, kad deformacijos profiliuočio juostoje, nepaisant jo plonasieniškumo, daugiau nei 50% didesnės nei sienelėje.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

- Darbe išnagrinėti plieninių vamzdinių santvarų nelakštinių mazgų skaičiavimo ir konstravimo ypatumai palyginus santvaras, suprojektuotas pagal EN 1993-1-1 [6] ir EN 1993-1-8 [7] bei STR 2.05.08:2005 [20] ir 2.05.08:2005 8 – tą priedą [19].
- 2. Palyginus "Santvaros 1", suprojektuotos remiantis [20] ir [19] pateikiamomis nuostatomis, plieno sąnaudos gautos 14 % mažesnės nei "Santvaros 2", suprojektuotos pagal [6] ir [7] nuostatas. Analizei santvarų elementai parinkti tik pagal laikomąją galią. Tokį plieno sąnaudų skirtumą sąlygojo galimybė pagal [20] parinkti mažesnius profiliuočius. Be to [20] metodika esant mažoms lenkiamojo momento reikšmėms, klupumo koeficientu φ_e gniuždomųjų lenkiamųjų elementų laikomąją galią sumažina mažiau, nei [6] metodika.
- 3. Atlikus santvarų iš kvadratinių plieninių vamzdžių skaitinę analizę, mazgai suprojektuoti pagal [19] nuostatas, gauti efektyvesni nei suprojektuoti pagal [7]. Tačiau, atlikus atskirų mazgo irties pobūdžių lyginamąją analizę, skaičiavimo algoritmų, pateikiamų [19], patikimumas kelia abejonių, nes, pavyzdžiui, Y tipo mazgų laikomosios galios skaičiavimo juostos plastinės irties atveju rezultatai yra daugiau nei 50 % mažesni nei gautieji analitiniu skaičiavimu, kurie gan gerai korealiuoja su skaičiavimais pagal [7]. Šis nesutapimas sietinas su [19] perpus mažesne konstanta lyginant su [6], nors pats skaičiavimo algoritmas abiem atvejais yra beveik tapatus. Nustatant Y tipo mazgų laikomąją galią, jei atsižvelgti į santvaros juostos įrąžas laikomųjų galių korealiacija lyginant su analitinio skaičiavimo rezultatais pagerėja.

Paprastai sunku atlikti K tipo mazgų laikomosios galios juostos plastinės irties atvejui analizę, kadangi skaičiavimo algoritmai yra pusiau empiriniai, tačiau jei taikyti analitinį skaičiavimo metodą, vis tiek gaunama geresnė korealiacija tarp analitinių ir K tipo mazgų laikomosios galios skaičiavimo pagal [7] rezultatų. Jei neatsižvelgti į santvaros juostos įrąžų poveikį skirtumas tarp skaičiavimo rezultatų pagal [19] ir [7] kinta 3 – 30 % ribose, o atsižvelgus į tas įrąžas, šis kitimas jau yra 8 – 43 % ribose.

4. Kadangi atliktos baigtinių elementų metodu analizės metu gautas skirtumas tarp profiliuočio ties mazgo centru juostos ir sienelės santykinių deformacijų svyruoja 4 – 22 % ribose priklausomai nuo profiliuočio plonasieniškumo, profiliuočio juostos plastinės ir sienelės klumpamosios irties vertinimą iš tiesų tikslinga atlikti tik tuomet, kai santvaros juostos ir tinklelio vamzdžių pločių santykio rodiklio β reikšmė yra didesnė nei 0,85. 5. Nors santvaras projektuoti pagal [6] ir [7] trunka ilgiau, tačiau algoritmai elementų laikomajai galiai nustatyti yra aiškesni, labiau susieti su gerai žinomais plieninių konstrukcijų elgsenos dėsniais nei [19] ir juose yra mažiau nevisai pagristai nustatytų koeficientų. Mazgų projektavimo galimybės pagal [7] yra platesnės, kadangi sudėtingų mazgų, tokių kaip KT tipo, esant nepakankamai laikomajai galiai, mazgą su tarpu galima suprojektuoti su užlaida, taip išvengiant būtinybės santvaros profiliuočių skerspjūvius didinti ir jų efektyvumą mažinti.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. *CIDECT – Design Guide for Ractangular Hollow Sections (RHS) Joints under Predominantly Static Loading.* Germany, 1992, ISBN 3-88585-975-0.

2. Coa J.J, Packer J.A., Yang G.J. 1998. Yield line analysis of RHS connections with axial loads. *Journal of Constructional Steel Research*. 48, 1-25 p.

3. Coutie, M.G.; Davies, G. 1993. Tubular Structures V. London

4. *Design of SHS welded joints*. [online] Corus Tubes, CT16 [cited 15 August 2005]. Available from internet:

http://www.civl.port.ac.uk/britishsteel/pdfs/td393.pdf.

5. Design Handbook for Rautaruukki Hollow Sections. Rautaruukii metrorm. ISBN 952-5010-47-3

6. *Eurocode 3: Design of Steel Structures- Part 1.1: General -General Rules and Rules for Buildings.* Brussels, 2003. 90 p.

7. Eurokodas 3: Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-8 dalis. Mazgų projektavimas. Vilnius, 2007. 141 p.

8. Hancock G.J., Knoen, Y.B., Bernard E.S. 1994. Strength Design Curves for Thin-Walled Sections Undergoing Destortional Buckling. *Journal of Constructional Steel Research*. 31 (2-3), 169-186 p.

9. Hiriyur B.K.J., Schafter B.W. 2004. Yield-line analysis of cold-formed steel members. *International Journal of Steel Structures*. Aug. 2004.

10. Koskimaeki, M.; Niemi, E. 1989. Finite Element Studies on the Behavior of Rectangular Hollow Section K-joins. *Tubular Structures, 3-rd International Symposium, Finland*, p. 260-274.

11. Liu, D. K.; Yu, Y.; Wardenier J. 1998a. Effect of boundary conditions and chord preload on the strength of RHS uniplanar gap K- joint. *Tubular structures, 8-th International Symposium, Singapore*, p. 231-238.

12. Munro J., DaFonseca A.M.A. 1978. Yield line method by finite elements and linear programing. *The Structural Engineer*. (2) 56B 37-44 p.

13. Niemi E. 1989. Beahavior of Rectangular Hollow Section K-Joints at Low Temperatures. *Tubular Structures, 3rd International Symposium, Finland.* 19-27 p.

14. Packer, J.A. Theoretical behavior and analysis of welded steel joints with RHS chords. *CIDECT, Final Report 5U-78/19*.

15. Partanen, T. 1991. On convergence of yield line Theory and Nonlinear FEM results in plate Structures, *Tubular Structures, 4th International Symposium, Delft*, p. 313-323.

16. Partanen t., T. Bjork 1993. On Convergence of Yield Line Theory And Experimental Test Capacity of RHS K- and T- Joints [Tubular Structures V. Edited by M.G. County and G. Davies]. London, 774 p. ISBN:0419187707.

17. Rasmussen K.J.R., Teng F., Young B. 1993. Tests of K-Joints in Stainless Steel Square Hollow Sections. *Tubular Structures*, 5th International Symposium, Nottingham, 373-381 p.

18. Sarada, S.; Fleischer, O.; Puthli, R. (2002). Initial study on the static strength of thin – walled Rectangular Hollow Section (RHS) K – joint with gap. *The 12-th International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan*, p. 26-33.

19. STR 2.05.08:200. 8 priedas. Praktinio taikymo vadovas. Jungčių skaičiavimas ir reikalavimai konstrukcijoms projektuoti. Vilnius, 2005 57 p.

20. STR 2.05.08:2005. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos. Vilnius, 2005 106 p.

21. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Vilnius, 2003 50 p.

22. The Behaviuor and design of Welded Connections between Rectangular Hollow Sections Under Predominantly Static Loading. [online] Tubular Structures [cited 21 March 2008] Available from internet:

http://kuleuven.be/bwk/materials/Teaching/master/wg13/10300.htm.

23. Wardenier, J. 1982. Hollow section joints. Delft University Press, Delft.

24. Wardenier, J.; Giddings, T.W. The strength and behavior of statically loaded connections in structural hollow sections, *CIDECT Monograph No 6, 1986*.

25. Wardenier, J.; Stark, J.W.B. (1980). The static strength of welded lattice girder joints in structural, hollow sections, *ECSC Report*.

26. Zhang Z., Niemi E. 1991. Studies of the Behavior of RHS Gap K – Joints by Non-Linear FEM. *Tubular Structures*, 5th International Symposium, London, p. 364-372.

27. Zhao X-L, Hancock G.J. 1991. A Theoretical Analysis of Plastic Moment Capacity of an Inclined Yield Line under Axial Force. *Thin-walled Structures*. 15 (3) 185-207 p.

28. Zhao X-L, Hancock G.J. 1991. T-joints in Rectangular Hollow Sections Subjected to Combined Actions. *Journal of Structural Engineering*. Vol 117, No. 8, aug. 1991.

Santvaros konstrukcinių elementų parinkimas

1 lentelė. Santvaros apatinės juostos elementų parinkimas pagal EN 1993-1-1 rekomendacijas

	Apatinės juostos el. (pagal EN 1993-1-1)												
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal EN 1993-1-1 BB.1.3), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg		
1	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		
2	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		
3	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		
4	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		
5	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		
6	6000	5400	120	4,500	120x120x7.1	4,53	120x120x6	4,61	117	Sąlyga tenkinama	124,8		

2 lentelė. Santvaros apatinės juostos elementų parinkimas pagal STR 2.05.08:2005 rekomendacijas

	Apatinės juostos el. (pagal STR 2.05.08:2005)												
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal STR 2.05.08:2005, 4.9 lentelę), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg		
1	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		
2	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		
3	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		
4	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		
5	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		
6	6000	6000	120	5,000	140x140x10	5,2	140x140x6	5,43	110	Sąlyga tenkinama	147		

Viršutinės juostos el. (pagal EN 1993-1-1)											
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal EN 1993-1-1 BB.1.3), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
7	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
8	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
9	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
10	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
11	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
12	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
13	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
14	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
15	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
16	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
17	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20
18	3010	2709	120	2,258	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	120	Sąlyga tenkinama	20,20

3 lentelė. viršutinės juostos elementų parinkimas pagal EN 1993-1-1 rekomendacijas

4 lentelė. Viršutinės juostos elementų parinkimas pagal STR 2.05.08:2005 rekomendacijas
				Viršutinė	s juostos el. (pa	gal STR 2.0	05.08:2005)				
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal EN 1993-1-1 BB.1.3), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
7	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
8	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
9	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
10	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
11	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
12	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
13	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
14	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
15	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
16	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
17	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99
18	3010	3010	120	2,508	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	113	Sąlyga tenkinama	23,99

5 lentelė. Tinklelio elementų parinkimas pagal EN 1993-1-1 rekomendacijas

				Tir	nklelio elemen	tai (pagal EN 19	993-1-1)				
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal EN 1993-1-1 BB.1.3), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
19	3870	2902,5	120	2,419	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	109	Sąlyga tenkinama	30,84
20	3870	2902,5	120	2,419	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	109	Sąlyga tenkinama	30,84
21	4210	3157,5	120	2,631	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	118	Sąlyga tenkinama	33,55
22	4210	3157,5	120	2,631	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	118	Sąlyga tenkinama	33,55
23	4570	3427,5	120	2,856	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	113	Sąlyga tenkinama	51,64
24	4570	3427,5	120	2,856	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	113	Sąlyga tenkinama	51,64
25	4570	3427,5	120	2,856	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	113	Sąlyga tenkinama	51,64
26	4570	3427,5	120	2,856	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	113	Sąlyga tenkinama	51,64
27	4210	3157,5	120	2,631	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	118	Sąlyga tenkinama	33,55
28	4210	3157,5	120	2,631	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	118	Sąlyga tenkinama	33,55
29	3870	2902,5	120	2,419	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	109	Sąlyga tenkinama	30,84
30	3870	2902,5	120	2,419	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	109	Sąlyga tenkinama	30,84

6 lentelė. Statramsčių elementų parinkimas pagal 1993-1-1 rekomendacijas

				Statra	amsčių eleme	ntai (pagal EN 1	993-1-1)				
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal EN 1993-1-1 BB.1.3), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
31	2200	1650	120	1,38	40x40x2.5	1,51	50x50x3	1,9	87	Sąlyga tenkinama	9,35
32	2700	2025	120	1,69	50x50x3	1,9	50x50x3	1,9	107	Sąlyga tenkinama	11,48
33	3200	2400	120	2,00	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	106	Sąlyga tenkinama	21,47
34	3700	2775	120	2,31	60x60x2.5	2,33	70x70x4	2,67	104	Sąlyga tenkinama	29,49
35	3200	2400	120	2,00	60x60x4	2,26	60x60x4	2,26	106	Sąlyga tenkinama	21,47
36	2700	2025	120	1,69	50x50x3	1,9	50x50x3	1,9	107	Sąlyga tenkinama	11,48
37	2200	1650	120	1,38	40x40x2.5	1,51	50x50x3	1,9	87	Sąlyga tenkinama	9,35

7 lentelė. Tinklelio elementų parinkimas pagal STR 2.05.08:2005 rekomendacijas

				Tinkleli	o elementai (p	bagal STR 2.0	05.08:2005)				
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal STR 2.05.08:2005, 4.9 lentelę), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
19	3870	3096	120	2,580	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	116	Sąlyga tenkinama	30,84
20	3870	3096	120	2,580	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	116	Sąlyga tenkinama	30,84
21	4210	3368	120	2,807	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	111	Sąlyga tenkinama	47,57
22	4210	3368	120	2,807	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	111	Sąlyga tenkinama	47,57
23	4570	3656	120	3,047	80x80x4	3,07	80x80x4	3,07	119	Sąlyga tenkinama	42,14
24	4570	3656	120	3,047	80x80x4	3,07	80x80x4	3,07	119	Sąlyga tenkinama	42,14
25	4570	3656	120	3,047	80x80x4	3,07	80x80x4	3,07	119	Sąlyga tenkinama	42,14
26	4570	3656	120	3,047	80x80x4	3,07	80x80x4	3,07	119	Sąlyga tenkinama	42,14
27	4210	3368	120	2,807	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	111	Sąlyga tenkinama	47,57
28	4210	3368	120	2,807	80x80x5	3,03	80x80x5	3,03	111	Sąlyga tenkinama	47,57
29	3870	3096	120	2,580	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	116	Sąlyga tenkinama	30,84
30	3870	3096	120	2,580	70x70x4	2,67	70x70x4	2,67	116	Sąlyga tenkinama	30,84

8 lentelė. Statramsčių elementų parinkimas pagal STR 2.05.08:2005 rekomendacijas

				Spyri	ų elementai (pa	agal STR 2.05	.08:2005)				
Elemento Nr.	Geometrinis ilgis, mm	Skaičiuojamasis ilgis (pagal STR 2.05.08:2005, 4.9 lentelę), mm	λ	Inercijos spindulys, cm	Skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	Priimamas skerspjūvis	Inercijos spindulys, cm	λ	Liaunio sąlyga	Elemento masė, kg
31	2200	1650	120	1.38	40x40x2.5	1.51	50x50x3	1.9	87	Sąlyga tenkinama	9.35
32	2700	2025	120	1.69	50x50x3	1.9	50x50x3	1.9	107	Sąlyga tenkinama	9.35
33	3200	2400	120	2.00	60x60x4	2.26	60x60x4	2.26	106	Sąlyga tenkinama	14.76
34	3700	2775	120	2.31	60x60x2.5	2.33	70x70x4	2.67	104	Sąlyga tenkinama	17.53
35	3200	2400	120	2.00	60x60x4	2.26	60x60x4	2.26	106	Sąlyga tenkinama	14.76
36	2700	2025	120	1.69	50x50x3	1.9	50x50x3	1.9	107	Sąlyga tenkinama	9.35
37	2200	1650	120	1.38	40x40x2.5	1.51	50x50x3	1.9	87	Sąlyga tenkinama	9.35

2 priedas

9 lentelė. Įrąžų suvestinė "Santvaros 1" elementuose Beam L/C Fx kN My kNm Mz kNm Stress N/mm2 Apatinės juostos el. -335.90 0,00 2,24 -100.27 1 3 2 3 -678,05 0,00 -3,24 -202,40 3 3 -751,28 0,00 -2,15 -224,26 3 4 -751,28 0,00 -2,15 -224,26 5 3 -678,05 0,00 -3,24 -202,40 3 6 -335,90 0.00 2,24 -100.27 Viršutinės juostos el. 7 3 4,543 0,000 4,003 4,302 8 3 553,199 0.000 13,918 523,862 3 9 553,069 0,000 10,688 523,739 3 10 745,462 0,000 12,153 705,930 3 745,416 0.000 11,192 11 705,886 3 12 725,523 0,000 11,897 687,049 3 13 687,049 725,523 0,000 11,897 3 14 745,416 0,000 11,192 705,886 3 12,153 15 745,462 0,000 705,930 3 16 553,069 0.000 10,688 523,739 3 553,199 17 0.000 13,918 523,862 18 3 4,543 0,000 4,003 4,302 Tinklelio elementai 19 430,148 0,000 0.000 407,337 3 3 -275,575 0,000 0,000 -260,961 20 3 21 180,885 0,000 0,000 121,399 22 3 0,000 0,000 -59,310 -88,372 3 0,000 0,000 13,249 23 16,031 24 3 45,852 0,000 0,000 37,894 25 3 0.000 0,000 37,894 45,852 3 0.000 0.000 13.249 26 16,031 3 27 0.000 0,000 -59,310 -88,372 3 28 180,885 0.000 0,000 121,399 3 29 -275,575 0,000 0,000 -260,961 3 0,000 30 430,148 0,000 407,337 Statramsčių elementai 31 3 20,784 0.000 -2,241 34,990 32 3 46,035 0,000 0,000 77,499 3 33 47,173 0,000 0.000 53,123 3 34 -72,553 0,000 0,000 -68,706 3 35 47,173 0,000 0,000 53,123 3 46,035 0,000 77,499 36 0.000 37 3 0,000 2,241 34,990 20,784

Įrąžų santvaros elementuose suvestinė

Beam	L/C	Fx kN	My kNm	Mz kNm	Stress N/mm2
		Apatinės juosto	s el.		-
1	1 3	-345.117	0	0.411	-121.094
2	2 3	-693.943	0	-0.038	-243.489
3	3 3	-767.239	0	-0.207	-269.207
2	4 3	-767.239	0	-0.207	-269.207
5	5 3	-693.943	0	-0.038	-243.489
6	5 3	-345.117	0	0.411	-121.094
		Viršutinės juost	os el.		
7	7 3	1.961	0	0.459	0.417
8	3 3	565.004	0	16.791	120.214
9) 3	564.496	0	4.917	120.105
10) 3	761.996	0	11.412	162.127
11	1 3	761.969	0	8.814	162.121
12	2 3	742.771	0	7.184	158.036
13	3 3	742.771	0	7.184	158.036
14	4 3	761.969	0	8.814	162.121
15	5 3	761.996	0	11.412	162.127
16	5 3	564.495	0	4.917	120.105
17	7 3	565.004	0	16.791	120.214
18	3 3	1.961	0	0.459	0.417
		Tinklelio eleme	ntai		-
19	9 3	445.433	0	0	156.292
20) 3	-278.493	0	0	-263.724
21	3	187.208	0	0	80.003
22	2 3	-88.993	0	0	-84.274
23	3 3	15.44	0	0	10.362
24	4 3	43.673	0	0	29.311
25	5 3	43.673	0	0	29.311
26	5 3	15.44	0	0	10.362
27	7 3	-88.994	0	0	-84.274
28	3 3	187.208	0	0	80.003
29	3	-278.493	0	0	-263.724
30) 3	445.433	0	0	156.292
		Statramsčių eler	mentai		
31	3	19.01	0	-0.411	32.003
32	2 3	42.614	0	0	71.741
33	3 3	48.599	0	0	46.022
34	4 3	-68.981	0	0	-65.323
35	5 3	48.599	0	0	46.022
36	5 3	42.614	0	0	71.741
37	7 3	19.01	0	0.411	32.003

10 lentelė. Įrąžų suvestinė "Santvaros 2" elementuose

3 priedas

"Santvaros 1" mazgų laikomosios galios nustatymas

111 / 1.	0 1 10			1 /	· ·	1 '1 '	1.	1	• •
I I lentele	Santvarog 1"	/L_to1/	α maza α	elementu	narametrai	laikomogiog	021106 6	22310133	/1m111
I I IOIIIOIO.	"Santvaros i		0 mazgo	CICILICIIU	parametral.	laikomosios	ganos	snaiciav	mui
	,,	5	0	U	,		0		

		Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai													
Elemento	Viršutinės juostos el	h(h) m	t m	А,	NEd,	Iražos poveikis	MEd,	Wel,	Wpl,	fy,	fyd,	Е,	NC	Ai	Skerspjūvio
Nr.	v insurines juostos er.	n(0), m	ι, Π	cm2	kN		kNm	cm3	cm3	N/mm2	N/mm2	N/mm2	γc	01	klasė
10	140x140x8	0,140	0,008	40,04	745,462	Gniuždymas	12,153	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
11	140x140x8	0,140	0,008	40,04	745,416	Gniuždymas	11,192	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
						Tinklelio									
						elmentai									
33	50x50x3	0,050	0,003	5,41	47,173	Gniuždymas	0	7,79	9,39	275	250	210000	1	85	1klasė

12 lentelė. "Santvaros 1" 4-tojo mazgo pagrindiniai rodikliai

1	Mazgo geometrinės sąly	gos		
$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$c_1 = h_1 / sin \theta_1$, m	γ ₁₍₁₎	γο	γ_t
0,357	0,050	1	0,823	0,8

2-ojo mazgo laikomosios galios nustatymas.

13 lentelė. "Santvaros 1" 2-tojo mazgo elementų parametrai, laikomosios galios skaičiavimui

						Mazgo elementu	į skaičiuoja	amieji dyo	džiai						
Elemento	Viršutinės juostos el	h(h) m	t m	Α,	N _{Ed} ,	Iražos poveikis	M _{Ed} ,	W _{el} ,	W _{pl} ,	f _y ,	f _{yd} ,	Е,	24	A.	Skerspjūvio
Nr.	v irsutilies juostos er.	n(0), m	ι, Π	cm ²	kN	įiązos poveikis	kNm	cm ³	cm ³	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	Yc	\mathbf{U}_1	klasė
8	140x140x8	0,140	0,01	40,04	553,199	Gniuždymas	13,918	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
9	140x140x8	0,140	0,01	40,04	553,069	Gniuždymas	10,688	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
						Tinklelio elmentai									
32	50x50x3	0,050	0,003	5,41	46,035	Gniuždymas	0	7,79	9,39	275	250	210000	1	85	1klasė

14 lentelė. "Santvaros 1" 4-tojo mazgo pagrindiniai rodikli	"Santvaros 1" 4-tojo mazgo pagrindiniai rodikliai
---	---

М	azgo geometrinės sąly	/gos		
$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$c_1 = h_1 / sin \theta_1$, m	γ ₁₍₁₎	γο	γ_t
0,357	0,050	1	0,998	0,8

15 lentelė. "Santavaros 1" 2-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas

Mazgo tipas	Drojektinė leiko	mosios galios raikšma kN					
K,N mazgas su tarpu	гюјекине тако	mosios ganos reiksme, kiv					
ti serita	Juosto (praspat	s paviršiaus irtis īdimas/išplėšimas)					
		β1≤0,9					
$N_1 \rightarrow g$ $N_2 \rightarrow b_2$	g/c1≤0,25						
θ1 θ2 θ2	N _{1.Rd} , kN	57,84					
	Juostos šon	Juostos šoninės sienelės klupimas					
		β1≤0,85					
$\checkmark \qquad \qquad$	N _{1.Rd} , kN	Sąlygos tikrinti nereikia					
	R	amsčio irtis					
	k	1					
	N _{1.Rd} , kN	87,83					
Mažiausia laikomoji gelie:	Juostos paviršiaus						
wiaziausia laikoinoji galla:	irtis	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>					
N1.Rd, kN	57,84	Sąlyga tenkinama					

	Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai														
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), m	t, m	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _y , N/mm ²	f _{yd} , N/mm ²	E, N/mm ²	γ _c	θ_{i}	Skerspjūvio klasė
7	140x140x8	0,140	0,008	40,04	4,543	Gniuždymas	4,003	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
8	140x140x8	0,140	0,008	40,04	553,199	Gniuždymas	13,918	161	194,2	275	250	210000	1		1klasė
					T	inklelio elment	tai								
19	120x120x6	0,120	0,006	26,43	430,148	Gniuždymas	0	93,69	111,6	275	250	210000	1	34	1klasė
20	100x100x3	0,100	0,003	11,41	-275,575	Tempimas	0	35,41	41,21	275	250	210000	1	44	2klasė

16 lentelė. "Santvaros 1" 1-ojo mazgo konstrukcinių elementų reikialingi parametrai laikomosios galios skaičiavimui

3-ojo ir 5-ojo mazgų laikomosios galios nustatymas.

17 lentelė. "Santvaros 1" 3-čiojo mazgo elementų parametrai, laikomosios galios skaičiavimui

	Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai														
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), m	t, m	A, cm^2	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _y , N/mm ²	f _{yd} , N/mm ²	E, N/mm ²	γ _c	$\boldsymbol{\theta}_i$	Skerspjūvio klasė
9	140x140x8	0,140	0,008	40,04	553,069	Gniuždymas	10,688	161	194,2	275	250	210000	1		1 klasė
10	140x140x8	0,140	0,008	40,04	745,462	Gniuždymas	12,153	161	194,2	275	250	210000	1		1 klasė
					Т	inklelio elment	tai								
21	80x80x5	0,080	0,005	14,36	180,885	Gniuždymas	0	32,86	39,74	275	250	210000	1	40	1klasė
22	50x50x3	0,050	0,003	5,41	-88,372	Tempimas	0	7,79	9,39	275	250	210000	1	49	1klasė

18 lentelė. "Santvaros 1" 5-tojo mazgo elementų parametrai, laikomosios galios skaičiavimui

	Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai														
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), m	t, m	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _y , N/mm ²	f _{yd} , N/mm ²	E, N/mm ²	γ_{c}	θ_{i}	Skerspjūvio klasė
11	140x140x8	0.140	0.008	40.04	745.416	Gniuždymas	11.192	161	194.2	275	250	210000	1		1klasė
12	140x140x8	0.140	0.008	40.04	725.523	Gniuždymas	11.897	161	194.2	275	250	210000	1		1klasė
					Т	inklelio elment	ai								
23	50x50x3	0.050	0.003	5.41	16.031	Gniuždymas	0	7.79	9.39	275	250	210000	1	44	1klasė
24	50x50x3	0.050	0.003	5.41	45.852	Gniuždymas	0	7.79	9.39	275	250	210000	1	54	1klasė

19 lentelė.	9 lentelė. "Santvaros 1" 3-čiojo mazgo pagrindiniai rodikliai											
	Ma	zgo geometrin	ės sąlygos									
e	2g _{min} , m	2g	h _{0, rek} , m	g/c ₁	g/c ₂	e _{reik} , m						
-0,020	0,0080	0,0080	0,140	0,032	0,060	-0,020						
$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$\eta_2 = \beta_2 = b_2/b_0$	$c_1 \!\!=\!\! h_1 \! / \! sin \theta_1$, m	$c_2=h_2/\sin\theta_2$, m	γ ₁₍₁₎	γ ₁₍₂₎	γο						
0,571	0,357	0,124	0,066	1	1,2	0,823						
20 lentelė.	"Santavaros	1" 3-čiojo maz	zgo ašinės lai	ikomos	iso gali	ios nusta	tymas					
Mazgo tipas K Numerova na tanua K Numerova na tanua												
K,N mazgas su tarpu												
Juostos paviršiaus irtis (praspaudimas/išplėšimas)												
			β1	≤0,9		β2≤0,9						
The second second		t ₂	g/c1	≤0,25	g/c2≤0,25							
b ₁ N ₁	a N	h ₂ b	N _{1.Rd} , kN				328,27					
θ1			N _{2.Rd} , kN				166,92					
			32	8,27		Pa	vojingiausia įrąža					
		_{>} h ₀ > ≤ ^τ ₀		Ti	nklelio) elemen	ito irtis					
			k				1					
		\leftarrow $\overset{b_0}{\rightarrow}$	N _{1.Rd} , kN			ક્રિ	lyga nevertinama					
			N _{2.Rd} , kN				132,22					
			13	2,22		Pa	vojingiausia įrąža					
Mažia	usia laikomoj	i galia:	Tinklelio e	lement	to irtis	Tikrina	ame sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>					
	N2.Rd, kN		13	2,22	Sąlyga tenkinama							

21 lentelė.	"Santvaros	1" 5-tojo	mazgo	pagrind	iniai	rodikliai
-------------	------------	-----------	-------	---------	-------	-----------

Mazgo geometrinės sąlygos										
e	2g _{min} , m	2g	h _{0, rek} , m	g/c_1	g/c_2	e _{reik} , m				
0.005	0.0060 0.0653 0.140 0.453 0.528 -0.029									
$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$\eta_2 = \beta_2 = b_2/b_0$	$c_1 = h_1 / sin \theta_1$, m	$c_2=h_2/sin\theta_2$, m	γ ₁₍₁₎	γ ₁₍₂₎	γο				
0.357	0.357	0.072	0.062	1	1	0.823				

22 ientele. "Santavaros 1 5-tojo mazg	go asines laikomosiso galic	os nustatymas		
Mazgo tipas K,N mazgas su tarpu	Skaičiuotinė laikon	nosios galios reikšmė, kN		
	Juostos paviršiaus irti	s (praspaudimas/išplėšimas)		
	β1≤0,9	β2≤0,9		
t ₁	g/c1>0,25	g/c2>0,25		
b ₁ N ₁ N ₁ N ₁ N ₂ h ₂	N _{1.Rd} , kN	77.61		
θ1	N _{2.Rd} , kN	62.96		
θ_2	62.96	Pavojingiausia įrąža		
$h_0 \rightarrow t_0$	Rar	nsčio irtis		
	k	1		
	N _{1.Rd} , kN	Elementas gniuždomas, sąlyga nevertinama		
	N _{2.Rd} , kN	Elementas gniuždomas,sąlyga nevertinama		
	Elementas gniuždomas, sąlyga nevertinama	Pavojingiausia įrąža		
Mažiausia laikomoji galia:	Juostos paviršiaus irtis (praspaudimas/išplėši	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>		
N2.Rd, kN	62.96	Sąlyga tenkinama		

22 lentelė.	"Santavaros	1" 5-tojo mazgo	ašinės laikomosiso	galios nustatymas
<u><u><u></u></u></u> <u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u></u>	"Sunta rai ob	i e tojo mazgo		Sanos mastary mas

			_					Mazgo	o elementų	skaičiu	ojamieji dy	džiai									
Elemento Nr.	Apatinės	s juostos e	l. h(b), 1	n t,	m A cm	2	N _{Ed} , kN	Įrąžo	s poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _p cm		f _y , N/mm ²	N	f_{yd} , /mm ²	N/	E, mm ²	γc	$\boldsymbol{\theta}_i$	Skerspjūvio klasė
1	1402	x140x6	0.140) 0.0	006 31.2	23 -	335.89	8 Te	mpimas	2.241	131.5	155	.3	275		250	21	0000	1		1klasė
2	1402	x140x6	0.140) 0.	006 31.	-23	678.04	9 Te	mpimas	-3.24	2 131.5	155	.3	275		250	21	0000	1		1klasė
								Tinkle	lio elmenta	i											
20	1002	x100x3	0.100) 0.0	003 11.4	1 -	275.57	5 Te	mpimas	0	35.41	41.2	21	275		250	21	0000	1	39	2klasė
21	802	x80x5	0.080) 0.	005 14.3	36 1	180.885	5 Gni	uždymas	0	32.86	39.7	74	275		250	21	0000	1	45	1klasė
32	502	x50x3	0.050) 0.	003 5.4	1	46.035	Gni	uždymas	0	7.79	9.3	9	275		250	21	0000	1	90	1klasė
24 lentelė	. "Sa	ntvaros 1	" 6-ojo r	nazgo	svarbiausi	ji rod	likliai la	aikomosio	os galios sk	aičiavi	nui									-	
							Maz	zgo geom	etrinės sąly	'gos											
e ₁	e_2	2g _{1min} , n	$1 2g_{2m}$	_{iin} , m	$2g_1$		2	g ₂	$h_{0, rek1}, m$	ı	$h_{0, rek2}, m$		e _{reik1} ,	, m	e	e _{reik2} , m		$\gamma_{1(1)}$	$\gamma_{1(2)}$		
0.0194	0.0196	0.0060	0.0	008	0.006)	0.0	080	0.140		0.140		0.01	.94	(0.0196		1.2	1		
g_1/c_1	g_1/c_3	g_2/c_2	g ₂	/c ₃	$\eta_1 = \beta_1 = b$	/b ₀	$\eta_2 = \beta_2$	$=b_{2}/b_{0}$	$\eta_3 = \beta_3 = b_3 / b_3$	b_1 c_1	$=h_1/\sin\theta_1$,	m $c_2=1$	h ₂ /sir	$n\theta_2$, m	c ₃ =h	$s_3/\sin\theta_3$,	m	γ ₁₍₃₎	γ_0		
0.019	0.060	0.035	0.0	080	0.714		0.5	571	0.357		0.159		0.11	13		0.050		1	1.000		
25 lentelė	. "Sa	ntvaros 1 [°]	' 7-tojo	mazgo	elementų	oaram	netrai, la	aikomosio	os galios sk	aičiavi	nui	•									
					-			Mazgo	o elementų sk	aičiuoja	nieji dydžiai									1	
Elemento Nr.	Apatinės	juostos el.	h(b), m	t, m	A, cm^2	N I	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _y , N/mn	n ²	f _{yd} , N/n	nm ²	E, N/mm	2	γ_{c}	$\boldsymbol{\theta}_i$	Ske	erspjūvio klasė
2	140x	140x6	0.140	0.006	31.23	-67	8.049	Tempima	s -3.242	131.5	155.3	275		250		21000	0	1		1	klasė
3	140x	140x6	0.140	0.006	31.23	-75	51.275	Tempima	s -2.148	131.5	155.3	275		250		21000	0	1		1	klasė
					-	_	Tir	nklelio elm	entai			-									
22	60x	60x4	0.060	0.004	8.55	-88	8.372	Tempima	s 0	14.52	17.64	275		250		21000	0	1	45	1	klasė
23	50x	50x3	0.050	0.003	5.41	16	5.031	Gniuždym	as 0	7.79	9.39	275		250		21000	0	1	49	1	klasė
33	60x	60x4	0.060	0.004	8.55	47	7.173	Gniuždym	as 0	14.52	17.64	275		250		21000	0	1	90	1	klasė

23 lentelė. "Santvaros 1" 6-ojo mazgo konstrukcinių elementų reikialingi parametrai laikomosios galios skaičiavimui

	//		3 0 1	0							
	Mazgo geometrinės sąlygos										
e ₁	e ₂	2g _{1min} , m	2g _{2min} , m	2g ₁	2g ₂	$h_{0, rek1}, m$	h _{0, rek2} , m	e _{reik1} , m	e _{reik2} , m	$\gamma_{1(1)}$	$\gamma_{1(2)}$
0.0104	0.0107	0.0080	0.007	0.0080	0.0070	0.140	0.140	0.0104	0.0107	1.2	1
g_1/c_1	g_1/c_3	g_2/c_2	g_2/c_3	$\eta_1 = \beta_1 = b_1/b_0$	$b_2 = \beta_2 = b_2/b_2$	η ₃ =β ₃ =b ₃ /b	c ₁ =h ₁ /sin	c ₂ =h ₂ /sin	$c_3=h_3/sin\theta_3$, m	$\gamma_{1(3)}$	γ_0
0.047	0.067	0.053	0.058	0.429	0.357	0.429	0.085	0.066	0.060	1	1.000

26 lentelė. "Santvaros 1" 7-tojo mazgo pagrindiniai rodikliai

	0	5	
	Įrąžų pusiausv	yros sąlyga KT ma	azgui
Mazgo tipas			
	Sąly	ga tenkinama	
KT mazgas	Skaičiuotinė laiko	mosios galios reik	šmė, kN
	Juostos paviršiaus irt	tis (praspaudimas	/išplėšimas)
	β1≤0,9	β2≤0,9	β3≤0,9
	g1/c1≤0,25	g2/c2≤0,25	
	g1/c3≤0,25	g2/c3≤0,25	
	N _{1.Rd} , kN	153.3	2
	N _{2.Rd} , kN	95.08	8
	N _{3.Rd} , kN	73.4	8
	73.48	Pavojingiau	sia įrąža
	Ra		
	k	1	
	N _{1.Rd} , kN	196.8	0
		Elementas gniuž	domas,sąlyga
	N _{2.Rd} , kN	nevertin	ama
		Elementas gniuž	domas,sąlyga
	N _{3.Rd} , kN	nevertin	ama
	196.80	Pavojingiau	sia įrąža
Mažiausia laikomoji galia:	Juostos paviršiaus irtis (praspaudimas/išplėši mas)	Tikriname sąlyg	ą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>
N3.Rd, kN	73.48	Salvga ten	kinama
		Sqiy Su tem	

27 lentelė. "Santavaros 1" 7-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas

"Santvaros 2" mazgų laikomosios galios nustatymas

	Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai																	
Elemento Nr.	Viršutinės juo	ostos el.	h(b) mm	, t, mm	A, cm ²	N _{Ec}	l, Įrąž	žos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl,} cm ³	f _{yi} N/m	, m ² N/	E, mm ²	γ _{М5}	$\boldsymbol{\theta}_i$	Skersp kla	jūvio sė
10	160x160	x8	0,16	0 0,008	8 46,44	761,9	996 G	niuždymas	11,412	217,7	260,1	27	5 21	0000	1		1kla	ısė
11	160x160	x8	0,16	0 0,008	3 46,44	761,9	969 G	niuždymas	8,814	217,7	260,1	27	5 21	0000	1		1kla	ısė
				1		1		Tinklelio elm	nentai	Γ		-				1 1		
33	60x60x	4	0,06	0 0,004	8,55	48,5	99 1	Tempimas	0	14,52	17,64	27	5 21	0000	1	85	1kla	ısė
2-ojo maz	go laikomosio	s galios r	nustaty	mas.														
29 lentelė.	"Santvaros	2" 2-tojo	mazgo	elemen	tų param	etrai, la	ikomosi	os galios ska	učiavimu	i								
							Mazgo	o elementų sk	aičiuojar	nieji dy	džiai			-				
Elemento Nr.	Viršutinės juo	stos el.	h((b), mm	t, mm	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _p cm	l, 3	f _{yi} , N/mm ²	E, N/mm	n ²	γ _{M5}	$\boldsymbol{\theta}_i$	Skerspjūvio klasė
8	160x160x8			0.160	0.008	46.44	565.004	4 Gniuždyma	ls 16.79	01 21	7.7 2	60.1	275	2100	000	1		1klasė
9	160x160x8			0.160	0.008	46.44	564.49	6 Gniuždyma	is 4.91	7 21	7.7 2	60.1	275	2100	000	1		1klasė
								Tinklelio el	mentai							1	_	1
32	70x70x4			0.070	0.004	10.15	42.614	4 Tempimas	0	20	0.61 2	4.76	275	2100	000	1	85	1klasė
30 lentelė.	"Santvaros	2" 2-tojo	mazgo) tinkamı	ımo sąly	gos											_	
Mazgo tipa	as							Т										
b _i /b ₀	Tinklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.44		≥0,25					Sąlyga	tenkinam	a						
Gniudyma	s Tinklelio el.	$b_1/t_1 =$	17.5	-11./00	≤ 35	27.00				Sąlyga	tenkinam	a					_	
Tomnimo	. Tinklalia al	h /t —	17.50	<u></u> <u></u> 41723	$\frac{5}{191} = 1$	37.90				Sąlyga	tenkinam	a 2						
Tempina		$U_1/U_1 -$	17.30		≤ 35					Sąlyga Salyga	tenkinam	a a						
b_0/t_0	Juostos el.	$b_0/t_0 =$	20	<41√23	$\frac{-33}{5/\text{fyi}=}$	37.90	Sątyga tenkinama											
		I				Papi	ldomos	sąlygos		00								
β=	0.4375	≤0,8	5	Galima	vertinti	tik juos	tos pavi	ršiaus irtį ir t	inklelio e	element	o irtį dėl s	sumaže	ejusio ef	ektyvi	ojo p	oločio)	
b ₀ /t ₀ =	20	≥10	Gal	ima įver	tinti tik j	uostos	paviršia	us irtį ir tinkl	elio elem	ento irt	į dėl sum	ažęjusi	io efekty	viojo j	ploč	io		

28 lentelė. "Santvaros 2" 4-ojo mazgo konstrukcinių elementų reikialingi parametrai laikomosios galios skaičiavimui

51 reflecte. "Santavaros 2 2-tojo mazg	o asines laike	JIIIOSISO gai	105 Hustatymas
Mazgo tipas		Proj	ektinė laikomoji galia
T,X,Y mazgas	β	0.4375	
	0.43	375	Juostos paviršiaus irtis, β≤0,85
	n	0.677	
	k _n	0.68	82.94
	β	1	Juostos šoninės sienelės klupimas,
		λ	β=1,0
	f _b , MPa	0.719	Nevertiname
<u> </u>		χ	N _{i,Rd} , kN
t _i n _i	196.09	0.713	347.27
Ni	b _{eff} ,	, m	Ramsčio irtis, β≥0,85
θ			Nevertiname
	0.0	70	N _{i,Rd} , kN
			290.4
	γ	10.00	Juostos išplėšiamoji/praspaudžiamoji irtis, 0,85≤β≤(1-1/γ)
	b _{ep} ,	m	Nevertiname
	0.0	35	N _{i,Rd} , kN
	0.0	55	268.44
Mažiausia laikomoji galia:	Juostos pa	aviršiaus	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>
wiaziausia laikomoji galla:	irtis, β	≤0,85	Sąlyga tenkinama

31 lentelė. "Santavaros 2" 2-tojo mazgo ašinės laikomosiso galios nustatymas

		Mazgo elementų skaičiuojamieji dydžiai													
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), mm	t, mm	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	F _y , N/mm ²	E, N/mn	$n^2 \gamma_{MS}$	θ_i	Skersp kla	ojūvio sė
7	160x160x8	0.160	0.008	46.44	1.961	Gniuždymas	0.459	217.7	260.1	275	21000	0 1		1kl	asė
8	160x160x8	0.160	0.008	46.44	565.004	Gniuždymas	16.791	217.7	260.1	275	21000	0 1		1kl	asė
		· ·	-			Tinklelio elr	nentai								
19	120x120x6	0.120	0.006	26.43	445.433	Gniuždymas	0	93.69	111.6	275	21000	0 1	34	1kl	asė
20	70x70x4	0.070	0.004	10.15	-278.493	Tempimas	0	20.61	24.76	275	21000	0 1	40	1kl	asė
33 lentelė.	"Santvaros 2" 3-čioj	"Santvaros 2" 3-čiojo mazgo elementų parametrai, laikomosios galios skaičiavimui													
					Ma	zgo elementų ska	ičiuojami	eji dydž	iai						
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), mm	t, mm	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _{yi} , N/mr	m^2 E, N/	mm ²	γ _{м5}	θ_i	Skerspjūv klasė
9	160x160x8	0.160	0.008	46.4	14 564.4	96 Gniuždymas	4.917	217.7	260	.1 27	5 2	10000	1	1	1klasė
10	160x160x8	0.160	0.008	46.4	44 761.9	96 Gniuždymas	11.412	217.7	260	.1 27	25 2	10000]	l	1klasė
						Tinklelio elm	ientai								
21	90x90x5	0.090	0.005	16.36	187.2	08 Gniuždymas	0	42.87	51.4	1 27	25 2	10000]	1 40) 1klasė
22	70x70x4	0.070	0.004	10.15	-88.9	93 Tempimas	0	20.61	24.7	6 27	25 2	10000]	1 40) 1klasė
34 lentelė.	"Santvaros 2" 5-tojo	o mazgo el	ementų	parameti	rai, laikom	osios galios skai	čiavimui								
		-			Ma	zgo elementų ska	ičiuojami	eji dydž	iai						
								W 7	W/	f	Б				

32 lentelė. "Santvaros 2" 1-ojo mazgo konstrukcinių elementų reikialingi parametrai laikomosios galios skaičiavimui

					Mazgo	elementų skai	čiuojamie	eji dydžia	i					
Elemento Nr.	Viršutinės juostos el.	h(b), mm	t, mm	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įrąžos poveikis	M _{Ed} , kNm	W _{el} , cm ³	W _{pl} , cm ³	f _{yi} , N/mm ²	E, N/mm ²	γм5	θ_{i}	Skerspjūvio klasė
11	160x160x8	0.160	0.008	46.44	761.969	Gniuždymas	8.814	217.7	260.1	275	210000	1		1klasė
12	160x160x8	0.160	0.008	46.44	742.771	Gniuždymas	7.184	217.7	260.1	275	210000	1		1klasė
						Tinklelio elmo	entai							
23	80x80x5	0.080	0.005	14.36	15.44	Gniuždymas	0	32.86	39.74	275	210000	1	44	1klasė
24	80x80x5	0.080	0.005	14.36	43.673	Gniuždymas	0	32.86	39.74	275	210000	1	40	1klasė

35 lentelė	.	"Sa	ntvaros 2" 3	3-čiojo n	nazgo sva	arbia	usieji rodiklia	i		
	1		g					2	g>=g _{min}	
g _{min} , m	0.0	09	0.060	5			1 1	Sąlyga	a tenkin	ama
e, m	0.00	000	Kad būtų te	enkinama	ı 3.28 sąl	yga:	-0.088	≤e≤	0.04	Sąlyga tenkinama
\mathbf{g}_{a}	0.05	555	Tikı	riname sa	ąlygą:		$g_a > 1,5t_0 =$	=	0.01	Sąlyga tenkinama
β	0.50	000				Rei	kia tikrinti ino	osta pra	asnaudii	mui
γ	10.	00				1.01		,sut pr	uspuuun	
n	0.75	562	k _n	<u> </u>	0.6950)	1			≤1
36 lentele). 	"Sa	ntvaros 2" :	3-čiojo n	nazgo tin	kam	umo sąlygos			
Mazgo t	ipas						K su tarpu			Salvas tankinama
		1 ti	nklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.56	>0	$\underline{\geq}0,33$	0.20		Sąlyga tenkinama Sąlyga tenkinama
b _i /b ₀	-					≥0,	>0.35	0.30		Sątyga tenkinama
		2 ti	nklelio el.	$b_2/b_0 =$	0.438	>0	$\frac{-0,33}{1+0.01 \cdot b0/t0=}$	0.30		Sąlyga tenkinama
						<u>_</u> 0,	<35	0.50		Sąlyga tenkinama
		1 ti	nklelio el.	$b_1/t_1 =$	18	<	$\frac{-50}{41\sqrt{235/f_{vi}}}$	37 90		Sąlyga tenkinama
Gniudyr	nas						<u>≤35</u>	57.90	Tinkle	elio elementas tempiamas
		2 ti	nklelio el.	$b_2/t_2 =$	17.5	<	$41\sqrt{235/fvi} =$	37 90	Tinkle	elio elementas tempiamas
Tempin	nas	1 ti	nklelio el.	$b_1/t_1 =$	18.00		<35	57.50	Tinkle	lio elementas gniuždomas
1		2 ti	nklelio el.	$b_2/t_2 =$	17.50		<35		THIRTO	Salvoa tenkinama
					17.50		<u></u> <35			Salvga tenkinama
b_0/t_0		ju	ostos el.	$b_0/t_0 =$	20	\leq	41√235/fyi=	37.90		Salyga tenkinama
T			- /1		0.414		$\geq 0.5(1-\beta) =$	0.250		Salyga tenkinama
1 arpa	.S		$g/b_0 =$		0.414		$\leq 1,5(1-\beta) =$	0.750		Sąlyga tenkinama
					Papi	ldon	nos sąlygos			
β			≤0,6	ir	≤1,3		Reikia tik	rinti vi	isus gali	imus irties atvejus
b ₀ /t ₀ =	=		20	≥15	Galima	įver	tinti tik juosto dėl sumažę	s pavir zjusio (ršiaus ir efektyvi	tį ir tinklelio elemento irtį iojo pločio
37 lentelė) .	"Sa	ntavaros 2"	3-čiojo	mazgo aš	śinės	laikomosiso g	galios	nustatyr	mas
			Mazgo tipa	as			Skaičiuotii	nė laik	omosio	s galios reikšmė, kN
		K,N	I mazgas su	tarpu						
							و	Juosto	os pavir	šiaus irtis
							N _{1.Rd} , kN			267.80
							N _{2.Rd} , kN			267.80
							267.80		Pav	vojingiausia įrąža
								Juost	os šlyja	moji irtis
							V _{pl.Rd} , kN			427.60
							V _{Ed} , kN			120.33
							A _v , m			0.0027
							α			0.1041
							$V_{Ed} > 0.5 V_{pl R}$	łd	N0,Rc	l skaičiuoti nereikia
							N _{0.Rd} , kN			-

b ₁		1		N	h ₂	t ₂	N1.Rd,	kN		1147.09
θ1	fr	y y	•	N ₂ θα		*		Tin	klelio o	elemento irtis
⊢ _ Ý		<u>+ – –</u>				t.	b _{eff1} ,r	n		0.072
 				h _o		<u>•</u> ••	b _{eff2} ,r	n		0.07
				¥			N _{1.Rd} , I	κN	Temj	piamų tinklelio elementų nėra, irtis neįvyks
						-	N _{2.Rd} , 1	٨N		290.4
						_	290.4	4		Pavojingiausia įrąža
						-	Juosto	s išplėš	<mark>śiamoj</mark> i	i/praspaudžiamoji irtis
						_	b _{ep1} ,r	n		0.045
						_	b _{ep2} ,r	n		0.035
							γ			10
						-	N _{1.Rd} , I	κN		501.65
							N _{2.Rd} , 1	٨N		390.17
							501.6	5		Pavojingiausia įrąža
	M	ažiau	ısia laikom	oji galia	:		Juost paviršiau	os s irtis	Tikr	iname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>
			N1.Rd, k	N			267.8	0		Sąlyga tenkinama
38 lentelė	•	"Sa	ntvaros 2" :	5-tojo ma	zgo svar	biau	isieji rodik	liai		
			g					Ę	g>=g _{min}	1
g _{min} , m	0.0	010	0.058 Kad būt	u tenking	ma 2 28			Sąlyg	a tenki	nama
e, m	0.0	000	Kau Uui	sąlyga:	una <i>3.</i> 28		-0.088	≤e≤	0.04	Sąlyga tenkinama
g,	0.04	472	Tikr	iname sa	lvga:		g _a >1,5	$t_0 =$	0.01	Salvga tenkinama
β	0.5	000				:1_:	:1			1::
γ	10.	.00			K	(eiki	la tikrinti ji	uostą p	raspauc	aimui
n	0.7	199	\mathbf{k}_{n}		0.7241					≤1
39 lentelė		"Sa	ntvaros 2" :	5-tojo ma	izgo tinka	amu	mo sąlygo	S		
Mazgo ti	pas				<u> </u>		K su tai	pu		
		1 ti	nklelio el.	$b_1/b_0 =$	0.50		<u>≥0,35</u>	5	2.0	Sąlyga tenkinama
b _i /b ₀						<u>≥</u> 0,	$1+0,01\cdot b0/$	t0 = 0.	30	Sąlyga tenkinama
		2 ti	nklelio el.	$b_2/b_0 =$	0.5	>0	20,33	$\frac{1}{10}$	20	Sąlyga tenkinama
						<u> </u>	<35	10-10.	30	Sąlyga tenkinama
		1 ti	nklelio el.	$b_1/t_1 =$	16	<4	 41√235/fvi	= 37	90	Sąlyga tenkinama
Gniudyr	nas						<u>≤35</u>	51	.,,,,	Salvga tenkinama
		2 ti	nklelio el.	$b_2/t_2 =$	16.0	<4	41√235/fvi	= 37	.90	Salvga tenkinama
Tempin	nas	1 ti	nklelio el.	$b_1/t_1 =$	16.00		<35	<i>2 /</i>	Tin	klelio elementas gniuždomas
		2 ti	nklelio el.	$b_2/t_2 =$	16.00		<35		Tin	klelio elementas gniuždomas
b ₀ /t ₀		ju	ostos el.	$b_0/t_0 =$	20		<u>35</u>			Sąlyga tenkinama

				<411	$\sqrt{235/\text{fvi}}$ =	37 90	Salva	ya tenkinama
					5(1-B)=	0 250	Sąlyg	ya tenkinama
Tarpas	g/b ₀ =		0.365	<1	$5(1-\beta) =$	0.250	Sąlyg	a tenkinama
			Papil	domos	salvgos	0.700	5475	
ß	<0.6	ir	<1 3		Reikia tik	rinti viene	galimus i	rtias atvaius
P	_0,0	п	_1,5		INCIKIA LIK	111111 v15u5	gainnus i	
$b_0/t_0 =$	20	≥15	Galima	įvertin	ti tik juosto dėl sumažo	os paviršia ejusio efek	us irtį ir ti ctyviojo p	nklelio elemento irtį ločio
40 lentelė.	"Santavaros 2"	5-tojo m	azgo aši	nės lail	komosiso g	alios nusta	itymas	
	Mazgo tij	pas			Skaiči	iuotinė lail	comosios	galios reikšmė, kN
	K,N mazgas s	su tarpu					• ••	•
						Juost	os pavirsi	aus irtis
]	N _{1.Rd} , kN		258.17
]	N _{2.Rd} , kN		279.00
						279.00		Pavojingiausia įrąža
						Juost	tos šlyjam	oji irtis
						V _{pl.Rd} , kN		430.41
						V _{Ed} , kN		28.07
						A _v , m		0.0027
					-	α		0.1179
					V	$_{Ed}$ >0.5V $_{pl.R}$	d	N0,Rd skaičiuoti nereikia
2	rt ₁			_€ t ₂]	N _{0.Rd} , kN		-
b ₁	I ₁	N ₂	h ₂ b	2	N	V2.Rd, kN		1147.09
θ1		2		~		Tinkl	elio eleme	ento irtis
		θ	2	2		b _{eff1} ,m		0.064
<u> </u>		ĥ,	₀││	<mark>< t</mark> ₀		b _{eff2} ,m		0.064
[J				Tempiamų tinklelio
		I	< ^b 0			N LN		elementų nėra, irtis
						1 1.Rd, KIN		Tempiamu tinklelio
								elementų nėra, irtis
						N _{2.Rd} , kN		neįvyks
					Temp	iamų tink	lelio	Dovojingioucio irožo
					Iuost	nera, irus os išnlėšia	moji/nra	ravojingiausia įrąza
					54050	h m	moji/pra.	
						D _{ep1} ,m		0.040
						b _{ep2} ,m		0.04
					-	$\frac{l}{N_{1,p,1} kN}$		300 12
						$N_{2D^3} kN$		450 41
						450 41		Dovojin ziovoje ins¥-
N						430.41		r avojingiausia įrąza
	Mažiausia laiko	moji gali	a:		Juostos	paviršiau	ıs irtis	Tikriname sąlygą: N _{i Ed} <n<sub>i Rd</n<sub>

Flemento						Mazg	o ele	ementų skaiči	uojamiej	i dyd	źiai							
Nr.	Apatine	es juostos el.	h(b), mm	t, mm	A, cm ²	N _{Ed} , kN	Įr	rąžos poveiki	s M _{Ed} , kNm	W _e cm	l. 3	W _{pl} , cm ³	F _y , N/mm ²	E, N/mm ²	γ _{М5}	$\boldsymbol{\theta}_i$	Skerspj klas	jūvio sė
1	120)x120x8	0.120	0.008	33.64	-345.1	17	Tempimas	0.411	112	.8	137.8	275	210000	1		1kla	sė
2	120	x120x8	0.120	0.008	33.64	-693.94	43	Tempimas	-0.038	112	.8	137.8	275	210000	1		1kla	sė
							•	Tinklelio el	mentai						•	•		
20	70	0x70x4	0.070	0.004	10.15	-278.49	93	Tempimas	0	20.	51	24.76	275	210000	1	39	1kla	sė
21	90	x90x5	0.090	0.005	16.36	187.20	8	Gniuždymas	0	42.	37	51.41	275	210000	1	45	1kla	sė
32	50	0x50x3	0.050	0.003	5.41	42.61	4	Gniuždymas	0	7.7	9	9.39	275	210000	1	90	1kla	sė
42 lentelė	. "Sa	ntvaros 2" 7-to	ojo maz	go elem	entų pa	arametra	i, laik	komosios gali	os skaič	iavim	ui							
Flemento						Maz	go el	lementų skaič	iuojami	eji dy	lžia	ui						
Nr.	Apatine	ės juostos el.	h(b), mm	t, mm	A, cm^2	A, N_{Ed} , V_{Ed} , V_{ed} , V_{el} , W_{el} , W_{pl} , M_{ed} , W_{el} , W_{pl} , $N/$							f _y , N/mm	$h^2 = \frac{E}{N/mn}$	n^2 γ	M5	$\theta_i \begin{vmatrix} \text{Sker} \\ k \end{vmatrix}$	spjūvio lasė
2	120)x120x8	0.120	0.008	33.64	-693.9	943	Tempimas	-0.03	8 1	2.8	137.8	8 275	21000	00	1	11	klasė
3	120)x120x8	0.120	0.008	33.64	-767.2	239	Tempimas	-0.20	07 11	2.8	137.8	8 275	21000	00	1	11	klasė
								Tinklelio e	elmentai									
22	7()x70x4	0.070	0.004	10.15	-88.9	93	Tempimas	0	20	0.61	24.76	5 275	21000	00	1	45 11	klasė
23	8()x80x5	0.080	0.005	14.36	15.4	4	Gniuždyma	s 0	32	.86	39.74	275	21000	00	1	49 Ik	klasė
33	60)x60x4	0.060	0.004	8.55	48.59	99	Gniuždyma	s 0	14	.52	17.64	275	21000	00	1	90 11	klasė
43 lentelė	. "Sa	ntvaros 2" 7-to	ojo maz	go svarł	oiausie	ji rodikli	ai		•					<u>.</u>				
KT su	tarpu	g		q				g>	=g _{min}									
g _{min} , m	0.008	0.016		-				Sąlyga	tenkinar	na								
g _{min} , m	0.009	0.016		-				Sąlyga	tenkinar	na								
e ₁ , m	0.035	Kad būtų tenk	inama (3.28 sąly	ga: .	-0.066	≤e≤	≤ 0.03	Sąly	/ga ne	tenl	kinama						
e ₂ , m	0.054	Kad būtų tenk	inama (3.28 sąly	ga:	$rga: -0.066 \le e \le 0.03$ Sąlyga netenkinama												
g _{a1}	0.0120	Tikrina	ame sąl	ygą:		g _a >1,51		0.01	Są	lyga t	enk	inama						
g _{a2}	0.0120	Tikrina	ame sąl	ygą:		g _a >1,51	=_0	0.01	Są	lyga t	enk	inama						
β	0.5833				Reiki	a tikrinti	iuost	a praspaudim	mi									
γ	7.50		1				,4050	T PIUSPUUUIII										
n	0.7511	k _n		1.000)				≤1									

41 lentelė. "Santvaros 2" 6-ojo mazgo konstrukcinių elementų reikialingi parametrai laikomosios galios skaičiavimui

44 lentelé	e. "Sa	antvaros 2"7	'-tojo n	nazgo su užlai	da sva	rbiaus	sieji ro	dikliai						
		g	2	q			2	g>	≥=g _{min}					
g _{min} , m	0.008	_		0.025		Т	inkleli	o element	ai mazge pe	rsidengia				
g _{min} , m	0.009	-		0.031		Т	inkleli	o element	ai mazge pe	rsidengia				
e ₁ , m	-0.005	Kad būtų ter	nkinam	a 3.28 sąlyga:	-0.0	66	≤e≤	0.03	Sąly	ga tenkinama				
e ₂ , m	0.000	Kad būtų ter	nkinam	a 3.28 sąlyga:	-0.0	66	≤e≤	0.03	Sąly	ga tenkinama				
\mathbf{g}_{a1}	-	Tikri	name s	sąlygą:	ga	>1,5t		0.012	Sąly	ga tenkinama				
g _{a2}	-	Tikri	name s	salyga:	ga	>1,5t		0.012	Sąly	ga tenkinama				
β	0.5833			D - 11	-:- 4:1				:					
γ	7.50			Kell		inu ji	uostą p	raspaudin	101					
n	0.7511	k _n		1.0000					≤1					
45 lentelė	e. "S	antvaros 2"7	/-tojo n	nazgo su užlai	da tink	amur	no sąly	/gos						
Mazgo														
tipas K su užlaida, [i=1 arba 2, j= uždengiamasis elementas]														
	1 tinkl	elio el. $b_1/b_0=$	0.58	≥0,25			Sąly	yga tenkin	ama					
b_i/b_0	2 tinkl	elio el. $b_2/b_0=$	=0.667	≥0,25			Sąly	yga tenkin	iama					
	3 tinkl	elio el.b ₃ /b ₀ =	0.500	≥0,25	1		Sąly	yga tenkin	iama					
	1 tinkl	elio el. $b_1/t_1 =$	17.5	≤36√235/fyi=	33.28	Tin	klelio e	elementas	tempiamas					
Gniudym	as <mark>2 tinkl</mark>	elio el. $b_2/t_2=$	16.0	≤36√235/fyi=	33.28	5	Sąly	yga tenkin	iama					
	3 tinkl	elio el. $b_3/t_3=$	15.0	≤36√235/fyi=	33.28		Sąly	yga tenkin	iama					
Tempima	as 1 tinkl	elio el. $b_1/t_1 =$	17.50	≤35			Sąly	yga tenkir	iama					
	2 tinkl	elio el. $b_2/t_2=$	16.00	≤35		Tink	clelio e	lementas	gniuždomas					
	3 tinkl	elio el. $b_3/t_3=$	15.00	≤35	_	Tink	clelio e	lementas	gniuždomas					
b ₀ /t ₀	juost	os el. $b_0/t_0=$	15	≤41√235/fyi=	37.90		Sąly	yga tenkir	iama					
	1 tinkl	elio el. $f_{1y} \cdot t_1$	1100	bj	b _i /b _i			≥0,75						
b_i/b_j	2 tinkl	elio el. $f_{2y} \cdot t_2$	1375	bj	0.86		Sąly	yga tenkir	iama					
	3 tinkl	elio el. $f_{2y} \cdot t_3$	1100	bi	0.75		Sąly	yga tenkir	iama					
Užlaida	q_1 ,	m e ₁ , m	λ_{ov}	25.00%	≥25%)	Sąly	yga tenkin	iama					
	0.0	025 -0.005	5		≤100%	0	Sąly	yga tenkin	lama					
Užlaida	q_2 ,	$m e_1, m$	λ _{ov}	29.10%	≥25%		Sąly	yga tenkin	iama					
16 lentelė		$\frac{0.000}{2}$	7 toio	mazgo ačinės	<u>≤100%</u> laikor		Sąly v galios	yga tenkin	lama					
	. ,,5		7-10]0	mazgo asmes		105150	Panil	ldomos sa	las Ivgos KT m	azgui				
		Mazgo tip	bas					Salvga	tenkinama					
	K	T mazgas su	užlaida	a		Skai	čiuotin	ie laikomo	sios galios	reikšmė, kN				
						Ti	nklelio	elemento	irtis, 25%	≤λ _{ov} <50%				
						Ni	_{i.Rd} , kN		16	0.91				
						t	o _{eff} , m		0.0	060				
						b	_{e.ov} , m		0.034					
						Ti	nklelio	elemento	emento irtis, 50%≤λ _{ov} <80%					
						N	Rd kN			-				
						h	$D_{\rm eff.}$ m		0.0	060				

Kadangi netenkinama minimalių ekscentricitetų sąlyga 7-tąjį mazgą projektuojame su užlaida.

	b _{e,ov} , m Tinklelio ele	0.034 emento irtis, λ₀v≥80%
where the second s	N _{i Rd} , kN	-
Nisa Nisa	b _{eff} ,m	0.060
Mara Nera		
	b _{e,ov} , m	0.034
Mažiausia laikamaji galiat	Tinklelio elemento	Tikriname sąlygą: N _{i.Ed} <n<sub>i.Rd</n<sub>
160.91	irtis, 25%≤λov<50%	Sąlyga tenkinama

T, X, Y tipo mazgų juostos plastifikacijos irties analizė

							•					•			
γ	β		N _{i,Rd(EN)} ,kl	N N _{i,Rd(STR)} ,	N	N _{i,Rd(anal)} ,k	N	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd}	(EN)	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd(S}	STR)	N _{i,Rd(EN)} /N _{i,Rd(}	STR)	σ	uostoje
20			25.34	13.35		21.55		14.96%		-61.42%		1.90			
16.00			39.59	20.86		33.75		14.75%		-61.79%		1.90		10)86.7
13.34			57.01	30.04		48.70		14.58%		-62.12%		1.90		79	94.39
12.70		ſ	62.85	33.11		53.73		14.51%		-62.28%		1.90		69	93.52
11.27	0.312	25	79.83	42.06		68.34		14.39%		-62.48%		1.90		53	37.54
10.00	0.01		101.35	53.40		86.90		14.26%		-62.73%		1.90		42	27.31
9.09			122.64	64.61		105.29		14.15%		-62.96%		1.90		,	362
8.00			158.36	83.43		136.18		14.01%		-63.23%		1.90		27	7.14
6.67			228.04	120.14		196.47		13.84%		-63.53%		1.90		23	32.71
6.40			247.44	130.37		213.25		13.82%		-63.57%		1.90		20)1.31
48 lentelė.	Juos	stos	plastifikaci	jos irties lygin	amo	oji analizė, n	eįve	ertinant įrąžų sa	ntva	ros juostoje, kai	rodik	lis $\beta = 0,5$			
γ	β	Ni	, _{Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N	J _{i,Rd(anal)} ,kN	N _{i,}	Rd(anal)/Ni,Rd(EN)	N _{i,}	$Rd(anal)/N_{i,Rd(STR)}$	N _{i,l}	$R_{d(EN)}/N_{i,Rd(STR)}$	σ_{juo}	stoje	
20			33.85	19.42		30.44		10.07%		-56.75%		1.74		-	
16.00			52.89	30.34		47.78		9.66%		-57.48%		1.74	122	8.5	
13.34			76.17	43.69		69.11		9.27%		-58.18%		1.74	849	.47	
12.70			83.98	48.17		76.29		9.16%		-58.38%		1.74	770	.01	
11.27	0.5		106.66	61.18		97.19		8.88%		-58.86%		1.74	610	.52	
10.00			135.41	77.67		123.76		8.60%		-59.34%		1.74	471	.45	
9.09			163.85	93.98		150.11		8.39%		-59.73%		1.74	411	1.3	
8.00			211.58	121.36		194.4		8.12%		-60.18%		1.74	319	.51	
6.67			304.67	174.76		280.78		7.84%		-60.67%		1.74	261	.63	
6.40			330.59	189.63		304.78		7.81%		-60.72%		1.74	27	'9	

47 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, neįvertinant įrąžų santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,3125$

γ	β		N _{i,Rd(EN)} ,kl	N N _{i,Rd(STR)} ,k	N N _{i,Rd(anal}	,kN	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd}	(EN)	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd(S}	STR)	N _{i,Rd(EN)} /N _{i,Rd}	STR)	σ _{juostoje}
20			43.63	26.55	41.0	0	6.03%		-54.43%		1.64		
16.00			68.17	41.48	64.5	2	5.35%		-55.54%		1.64		1050.8
13.34			98.17	59.74	93.4	7	4.79%		-56.46%		1.64		754.31
12.70			108.23	65.86	103.2	2	4.63%		-56.73%		1.64		715.56
11.27	0.62	5	137.46	83.65	131.6	51	4.26%		-57.33%		1.64		548.65
10.00	0.02	.5	174.52	106.2	167.7	0	3.91%		-57.91%		1.64		406.19
9.09			211.17	128.5	203.4	-2	3.67%		-58.30%		1.64		368.39
8.00			272.68	165.93	263.2	.9	3.44%		-58.68%		1.64		296.08
6.67			392.66	238.94	379.1	6	3.44%		-58.68%		1.64		224.09
6.40			426.07	259.27	411.1	1	3.51%		-58.56%		1.64		267.11
50 lentelė.	Juos	stos j	plastifikaci	jos irties lygina	amoji analizė	neįv	ertinant įrąžų sa	ntva	ros juostoje, kai	rodik	lis $\beta = 0,75$		
γ	β	N _{i,}	_{Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	I N _i	i,Rd(anal)/Ni,Rd(EN)	N _{i,}	$Rd(anal)/N_{i,Rd(STR)}$	N _{i,F}	Rd(EN)/Ni,Rd(STR)	σ_{juos}	toje
20			61.94	40.24	61.67		0.436%		-53.26%		1.54		
16.00			96.78	62.88	97.2300		-0.465%		-54.63%		1.54	951.	54
13.34		1	139.36	90.55	140.92		-1.119%		-55.63%		1.54	760.	68
12.70]	153.64	99.83	155.58		-1.263%		-55.84%		1.54	737.	38
11.27	0.75	1	195.14	126.8	198.09		-1.512%		-56.22%		1.54	697.	21
10.00	0.75	2	247.75	160.98	251.64		-1.570%		-56.32%		1.54	710.	51
9.09		2	299.77	194.78	304.04		-1.424%		-56.09%		1.54	549.	16
8.00			387.1	251.53	390.38		-0.847%		-55.20%		1.54	403.	66
6.67		4	557.43	362.2	551.85		1.001%		-52.36%		1.54	221.	73
6.40		(604.85	393.02	595.07		1.617%		-51.41%		1.54	189.	28
51 lentelė.	Juos	stos j	plastifikaci	jos irties lygina	amoji analizė	neįv	ertinant įrąžų sa	ntva	ros juostoje, kai	rodik	lis $\beta = 0,875$		
γ	β	N _{i,}	_{Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	I N _i	$_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	N _{i,}	Rd(anal)/Ni,Rd(STR)	N _{i,F}	Rd(EN)/Ni,Rd(STR)	σ_{juos}	toje
20	0.875		95.86	79.14	120.95		-26.17%		-52.83%		1.21		
16.00		1	149.79	123.66	181.81		-21.38%		-47.02%		1.21	759.	71

49 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, neįvertinant įrąžų santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,625$

13.34	215.7	178.07	265.5400	-23.11%	-49.12%	1.21	472.7
12.70	237.8	196.32	290.53	-22.17%	-47.99%	1.21	461.48
11.27	353	294.35	359.99	-1.98%	-22.30%	1.20	399.2
10.00	383.46	316.57	441.72	-15.19%	-39.53%	1.21	362.52
9.09	463.99	383.05	516.31	-11.28%	-34.79%	1.21	336.79
8.00	599.16	494.64	629.78	-5.11%	-27.32%	1.21	306.93
6.67	862.78	712.28	819.44	5.02%	-15.04%	1.21	262.66
6.40	936.18	772.88	866.64	7.43%	-12.13%	1.21	254.5

52 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, neįvertinant įrąžų santvaros juostoje, priklausomai nuo rodiklio β

γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN
	0.31	101.35	53.40	86.90
	0.50	135.41	123.76	123.76
10	0.63	174.52	106.20	167.70
	0.75	247.75	160.98	251.64
	0.88	383.46	316.57	441.72

53 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, įvertinant įrąžas santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,3125$

γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
20		18.8	9.09	21.55	-14.63%	-137.07%	2.07
16.00		29.38	17.47	33.75	-14.87%	-93.19%	1.68
13.34		42.3	28.28	48.70	-15.13%	-72.21%	1.50
12.70		46.64	31.85	53.73	-15.20%	-68.70%	1.46
11.27	0.2125	59.23	42.06	68.34	-15.38%	-62.48%	1.41
10.00	0.5125	75.2	53.40	86.90	-15.56%	-62.73%	1.41
9.09		90.99	64.61	105.29	-15.72%	-62.96%	1.41
8.00		117.5	83.43	136.18	-15.90%	-63.23%	1.41
6.67		169.2	120.14	196.47	-16.12%	-63.53%	1.41
6.40		183.6	130.37	213.25	-16.15%	-63.57%	1.41

γ	β	N	_{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	Ni	i,Rd(anal)/Ni,Rd(EN)	Ni	Rd(anal)/Ni,Rd(STR)	N _{i,F}	Rd(EN)/Ni,Rd(STR)	
20			32.2	13.22	30.44		5.47%		-130.26%		2.44	
16.00			50.32	25.41	47.78		5.05%		-88.04%		1.98	
13.34			72.45	41.14	69.11		4.61%		-67.99%		1.76	
12.70			79.88	46.32	76.29		4.49%		-64.70%		1.72	
11.27	0.5		101.46	61.18	97.19		4.21%		-58.86%		1.66	
10.00	0.5		128.81	77.67	123.76		3.92%		-59.34%		1.66	
9.09			155.86	93.98	150.11		3.69%		-59.73%		1.66	
8.00			201.26	121.36	194.4		3.41%		-60.18%		1.66	
6.67			289.82	174.76	280.78		3.12%		-60.67%		1.66	
6.40			314.47	189.63	304.78		3.08%		-60.72%		1.66	
55 lentelė.	Juos	stos	plastifikaci	ijos irties lygina	amoji analizė,	įvert	inant įrąžas san	tvaro	os juostoje, kai ro	odikli	s $\beta = 0,625$	
γ	β		N _{i,Rd(EN)} ,k	N N _{i,Rd(STR)} ,k	N N _{i,Rd(anal)}	,kN	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd}	(EN)	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd(S}	STR)	N _{i,Rd(EN)} /N _{i,Rd(ST}	ΓR)
20			43.63	18.07	41.00)	6.03%		-126.90%		2.41	
16.00			68.17	34.74	64.52	2	5.35%		-85.72%		1.96	
13.34			98.17	56.25	93.4	7	4.79%		-66.17%		1.75	
12.70			108.23	63.34	103.2	2	4.63%		-62.96%		1.71	
11.27	0.62	5	137.46	83.62	131.6	1	4.26%		-57.39%		1.64	
10.00	0.62	.5	174.52	106.20	167.7	0	3.91%		-57.91%		1.64	
9.09			211.17	128.50	203.4	2	3.67%		-58.30%		1.64	
8.00			272.68	165.93	263.2	9	3.44%		-58.68%		1.64	
6.67			392.66	238.94	379.1	6	3.44%		-58.68%		1.64	
6.40			426.07	259.27	411.1	1	3.51%		-58.56%		1.64	
56 lentelė.	Juos	stos	plastifikaci	ijos irties lygina	amoji analizė,	įvert	inant įrąžas san	tvaro	os juostoje, kai ro	odikli	s $\beta = 0,75$	
γ	β	N	_{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	Ni	i,Rd(anal)/Ni,Rd(EN)	Ni	Rd(anal)/Ni,Rd(STR)	N _{i,F}	Rd(EN)/Ni,Rd(STR)	
20	0.75		61.94	27.39	61.67		0.436%		-125.16%		2.26	
16.00			96.78	52.66	97.2300		-0.465%		-84.64%		1.84	
13.34			139.36	85.27	140.92		-1.119%		-65.26%		1.63	

54 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, įvertinant įrąžas santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,5$

12.70		153.64	96.01	155.58	-1.263%	-62.05%	1.60
11.27		195.14	126.8	198.09	-1.512%	-56.22%	1.54
10.00		247.75	160.98	251.64	-1.570%	-56.32%	1.54
9.09		299.77	194.78	304.04	-1.424%	-56.09%	1.54
8.00		387.1	251.53	390.38	-0.847%	-55.20%	1.54
6.67		557.43	362.2	551.85	1.001%	-52.36%	1.54
6.40		604.85	393.02	595.07	1.617%	-51.41%	1.54
57 lentelė.	Juos	stos plastifikac	ijos irties lygina	amoji analizė, įv	vertinant įrąžas sant	tvaros juostoje, kai ro	odiklis $\beta = 0,875$
γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
20		112.04	53.86	120.95	-7.95%	-124.56%	2.08
16.00		175.07	103.55	181.81	-3.85%	-75.58%	1.69
13.34		252.09	167.69	265.54	-5.34%	-58.35%	1.50
12.70		277.93	188.8	290.53	-4.53%	-53.88%	1.47
11.27	0.875	353	249.35	359.99	-1.98%	-44.37%	1.42
10.00	0.075	448.17	316.57	441.72	1.44%	-39.53%	1.42
9.09		542.28	383.05	516.31	4.79%	-34.79%	1.42
8.00		700.26	494.64	629.78	10.06%	-27.32%	1.42
6.67		1008.38	712.28	819.44	18.74%	-15.04%	1.42
6.40		1094.16	772.88	866.64	20.79%	-12.13%	1.42

58 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, įvertinant įrąžas santvaros juostoje, priklausomai nuo rodiklio β

γ	β	$N_{i,Rd(EN)}$, kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}$, kN
	0.3125	75.20	53.40	86.90
	0.5	128.81	77.67	123.76
10	0.625	174.52	106.20	167.70
	0.75	247.75	160.98	251.64
	0.875	448.17	316.57	441.72

6 priedas

K tipo mazgų juostos plastifikacijos irties analizė

γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}\!/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		76.48	55.56	41.23	46.09%	25.79%	-37.65%
13.34		100.54	80	59.64	40.68%	25.45%	-25.68%
12.70		108.18	88.2	65.83	39.15%	25.36%	-22.65%
11.27		129.42	112.02	83.89	35.18%	25.11%	-15.53%
10.00	0.3125	154.79	142.22	106.88	30.95%	24.85%	-8.84%
9.09		178.58	172.09	129.7	27.37%	24.63%	-3.77%
8.00		216.33	222.22	168.16	22.27%	24.33%	2.65%
6.67		284.37	320	243.55	14.35%	23.89%	11.13%
6.40		302.33	347.22	264.6	12.48%	23.79%	12.93%
60 lentelė.	Juostos p	lastifikacijos i	rties lyginamoj	ji analizė, neįvo	ertinant įrąžų santv	aros juostoje, kai ro	diklis $\beta = 0,5$
γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}\!/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		122.38	90.28	61.8	49.50%	31.55%	-35.56%
13.34		160.87	130.01	89.54	44.34%	31.13%	-23.74%
12.70		173.08	143.33	98.89	42.86%	31.01%	-20.76%
11.27		207.07	182.04	126.14	39.08%	30.71%	-13.75%
10.00	0.5	247.67	231.12	160.86	35.05%	30.40%	-7.16%
9.09		285.73	279.66	195.33	31.64%	30.15%	-2.17%
8.00		346.13	361.13	253.39	26.79%	29.83%	4.15%
6.67		455	520.02	366.87	19.37%	29.45%	12.50%
6.40		483.73	564.26	398.45	17.63%	29.39%	14.27%

59 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, neįvertinant įrąžų santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,3125$

γ		β	N _{i Rd(E)}	n,kN	Ni Rd(STR),	kN	N _{i Rd(anal)} ,kN	N _{i Rd(anal)} /N _{i Rd(EN)}	N _{i Rd(anal)} /N _{i Rd(STR)}	$N_{iRd(EN)}/N_{iRd(STR)}$
16.00			152	97	132.85	2	88.94	41 86%	33.07%	-15 12%
12.24			201	<u> </u>	101.24	5	129.07	25 860/	22.60%	5 000/
13.34			201.	08	191.53)	128.97	33.80%	32.00%	-3.08%
12.70			216.	35	210.96	5	142.45	34.16%	32.48%	-2.55%
11.27	0	625	258.	84	267.94	1	181.74	29.79%	32.17%	3.40%
10.00		.025	309.	59	340.17	7	231.7	25.16%	31.89%	8.99%
9.09			357.	17	411.61	1	281.15	21.28%	31.70%	13.23%
8.00			432.	66	531.52	2	364.06	15.86%	31.51%	18.60%
6.67			568.	75	765.39)	524.42	7.79%	31.48%	25.69%
6.40			604.	66	830.5		568.6	5.96%	31.54%	27.19%
52 lentel	ė. J	luostos p	olastifika	cijos i	rties lygina	amoji	i analizė, neįv	vertinant įrąžų santv	aros juostoje, kai ro	odiklis $\beta = 0,75$
γ	β	N _{i,Rd} (_{EN)} ,kN	N _{i,R}	_{d(STR)} ,kN	N _i	_{,Rd(anal)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,Rd(EN)}	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		18	3.56	2	15.22		153.74	16.25%	28.57%	14.71%
13.34		24	1.3	3	09.92		223.29	7.46%	27.95%	22.14%
12.70		25	9.62	3	41.69		246.65	5.00%	27.81%	24.02%
11.27		31	0.61	4	33.98		314.38	-1.21%	27.56%	28.43%
10.00	0.75	37	1.5	5	50.97		399.64	-7.57%	27.47%	32.57%
9.09		42	28.6	6	66.68		482.92	-12.67%	27.56%	35.71%
8.00		51	9.19	8	360.9		619.72	-19.36%	28.01%	39.69%
6.67		68	32.5	12	239.69		873.61	-28.00%	29.53%	44.95%
6.40		72	5.59	13	345.15		941.06	-29.70%	30.04%	46.06%
3 lentel	ė. J	Juostos plastifikacijos irtie		rties lygina	amoji	i analizė, neįv	vertinant įrąžų santv	aros juostoje, prikla	usomai nuo rodikli	
γ		β	5	N _{i,R}	_{l(EN)} ,kN	1	N _{i,Rd(STR)} ,kN	N _{i,Rd(anal)} ,kN		
10)	0.31	125	15	54.79		142.22	106.88		
		0.50	000	24	17.67		231.12	160.86		
		0.62	250	30)9.59		340.17	231.70		

61 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, neįvertinant įrąžų santvaros juostoje, kai rodiklis $\beta = 0,625$

	0.7500 371.50		71.50	550.97	399.64		
64 lentelė.	Juostos p	lastifikacijos	irties lyginan	noji analizė, įvert	inant įrąžas santvai	ros juostoje, kai rod	iklis $\beta = 0,3125$
γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kl	N N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		2.68	46.52	41.23	-1438.43%	11.37%	94.24%
13.34		23.25	75.33	59.64	-156.52%	20.83%	69.14%
12.70		28.94	84.82	65.83	-127.47%	22.39%	65.88%
11.27		48.18	112.02	83.89	-74.12%	25.11%	56.99%
10.00	0.3125	71.96	142.22	106.88	-48.53%	24.85%	49.40%
9.09		94.84	172.09	129.7	-36.76%	24.63%	44.89%
8.00		132	222.22	168.16	-27.39%	24.33%	40.60%
6.67		196.85	320	243.55	-23.72%	23.89%	38.48%
6.40		214.91	347.22	264.6	-23.12%	23.79%	38.11%
65 lentelė.	Juostos p	lastifikacijos	irties lyginan	noji analizė, įvert	inant įrąžas santvai	ros juostoje, kai rod	iklis $\beta = 0,5$
γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kl	N N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		62.34	75.6	61.8	0.87%	18.25%	17.54%
13.34		101.67	122.42	89.54	11.93%	26.86%	16.95%
12.70		113.32	137.84	98.89	12.73%	28.26%	17.79%
11.27		149.13	182.04	126.14	15.42%	30.71%	18.08%
10.00	0.5	192.7	231.12	160.86	16.52%	30.40%	16.62%
9.09		234.14	279.66	195.33	16.58%	30.15%	16.28%
8.00		300.74	361.13	253.39	15.74%	29.83%	16.72%
6.67		418.66	520.02	366.87	12.37%	29.45%	19.49%
6.40		450.73	564.26	398.45	11.60%	29.39%	20.12%
66 lentelė.	Juostos p	lastifikacijos	irties lyginan	noji analizė, įvert	inant įrąžas santvai	ros juostoje, kai rod	iklis $\beta = 0,625$
γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kl	N N _{i,Rd(anal)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(EN)}$	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd(STR)}$	$N_{i,Rd(EN)}\!/N_{i,Rd(STR)}$
16.00	0.625	102.11	111.27	88.94	12.90%	20.07%	8.23%
13.34		153.95	180.19	128.97	16.23%	28.43%	14.56%
12.70		169.57	202.88	142.45	15.99%	29.79%	16.42%

11.27			216.4	43	267.94	4 1	81.74	16.03%	6	32.17%		19.22%
10.00			273.	20	340.17	7 2.	31.70	15.19%	6	31.89%		19.69%
9.09			327.	00	411.6	1 2	81.15	14.02%	6	31.70%		20.56%
8.00			413.	23	531.52	2 3	64.06	11.90%	6	31.51%		22.26%
6.67			566.	54	765.39	9 52	24.42	7.43%)	31.48%		25.98%
6.40			607.	94	830.50) 5	68.60	6.47%)	31.54%		26.80%
67 lentel	ė. Ju	uostos p	lastifika	cijos ii	ties lygin	amoji anal	lizė, įver	tinant įrąžas s	santva	os juostoje, ka	ai rod	iklis $\beta = 0,75$
γ	β	N _{i,Rd(}	_{EN)} ,kN	N _{i,Rc}	_(STR) ,kN	N _{i,Rd(ana}	ı),kN	N _{i,Rd(anal)} /N _{i,R}	d(EN)	$N_{i,Rd(anal)}/N_{i,Rd}$	l(STR)	$N_{i,Rd(EN)}/N_{i,Rd(STR)}$
16.00		14	1.89	1	80.23	153.7	74	-8.35%		14.70%		21.27%
13.34		200	6.24	2	91.85	223.2	29	-8.27%		23.49%		29.33%
12.70		223	5.82	3	28.6	246.0	65	-9.22%		24.94%		31.28%
11.27		283	3.72	4.	33.98	314.3	38	-10.81%)	27.56%		34.62%
10.00	0.75	353	3.69	5:	50.97	399.0	64	-12.99%)	27.47%		35.81%
9.09		419	9.86	6	66.68	482.9	92	-15.02%)	27.56%		37.02%
8.00		52:	5.72	8	60.9	619.2	72	-17.88%)	28.01%		38.93%
6.67		714	4.41	12	39.69	873.0	51	-22.28%)	29.53%		42.37%
6.40		76	5.15	13	45.15	941.0	06	-22.99%)	30.04%		43.12%

68 lentelė. Juostos plastifikacijos irties lyginamoji analizė, įvertinant įrąžas santvaros juostoje, priklausomai nuo rodiklio β

γ	β	N _{i,Rd(EN)} ,kN	N _{i,Rd(STR)} ,kN	$N_{i,Rd(anal)},kN$
	0.3125	71.96	142.22	106.88
10	0.5000	192.70	231.12	160.86
10	0.6250	273.20	340.17	231.70
	0.7500	353.69	550.97	399.64

Y tipo mazgų juostos sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė

69 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 0.3125$

β	b ₀ /t ₀	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str)} , kN	$N_{i,Rd (EN)}/N_{i,Rd (str)}$
·	40	47.89	80.61	40.59%
	32	90.24	100.77	10.45%
	26.67	145.76	120.92	-20.54%
	25.4	164.5	126.96	-29.57%
0.2125	22.54	218.2	143.09	-52.49%
0.3123	20	284.05	161.22	-76.19%
	18.18	346.74	177.35	-95.51%
	16	447.72	201.53	-122.16%
	13.33	634.51	241.84	-162.37%
	12.8	684.9	251.91	-171.88%

70 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 0.5$

β	b_0/t_0	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str)} , kN	$N_{i,Rd (EN)}/N_{i,Rd (str)}$
	40	68.44	128.98	46.94%
	32	126.38	161.22	21.61%
	26.67	200.5	193.47	-3.63%
	25.4	225.14	203.14	-10.83%
0.5	22.54	294.89	228.94	-28.81%
0.5	20	378.89	257.96	-46.88%
	18.18	457.6	283.76	-61.26%
	16	582.29	322.45	-80.58%
	13.33	807.92	386.94	-108.80%
	12.8	867.93	403.06	-115.34%

71 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 0.625$

β	b_0/t_0	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str)} , kN	$N_{i,Rd (EN)}/N_{i,Rd (str)}$
	40	82,14	161,22	49.05%
	32	150.48	201.53	25.33%
	26.67	236.99	241.84	2.01%
	25.4	265.57	253.93	-4.58%
0.625	22.54	346.01	286.17	-20.91%
0.023	20	442.12	322.45	-37.11%
	18.18	531.51	354.69	-49.85%
	16	672.01	403.06	-66.73%
	13.33	923.53	483.67	-90.94%
	12.8	989.94	503.83	-96.48%

72 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 0.75$

		N _{i,Rd (EN)} ,	N _{i,Rd (str)} ,	$N_{i,Rd (EN)} / N_{i,Rd}$
β	b_0/t_0	kN	kN	(str)

	40	95.84	193.47	50.46%
	32	174.57	241.84	27.82%
	26.67	273.48	290.2	5.76%
	25.4	305.99	304.71	-0.42%
0.75	22.54	397.13	343.41	-15.64%
0.75	20	505.34	386.94	-30.60%
	18.18	605.42	425.63	-42.24%
	16	761.72	483.67	-57.49%
	13.33	1039.13	580.41	-79.03%
	12.8	1111.96	604.59	-83.92%

73 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 0.875$

β	b_0/t_0	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str)} , kN	$N_{i,Rd (EN)}/N_{i,Rd (str)}$
	40	109.54	225.71	51.47%
	32	198.67	282.14	29.58%
	26.67	309.97	338.57	8.45%
	25.4	346.42	355.5	2.55%
0.875	22.54	448.25	400.64	-11.88%
0.875	20	568.57	451.43	-25.95%
	18.18	679.32	496.57	-36.80%
	16	851.43	564.29	-50.89%
	13.33	1154.74	677.14	-70.53%
	12.8	1233.98	705.36	-74.94%

74 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė, kai rodiklis $\beta = 1,0$

β	b_0/t_0	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str}), kN	$N_{i,Rd (EN)}/N_{i,Rd (str)}$
	40	123.24	257.96	52.23%
	32	222.76	322.45	30.92%
	26.67	346.47	386.94	10.46%
	25.4	386.85	406.29	4.78%
1	22.54	499.38	457.88	-9.06%
1	20	631.8	515.92	-22.46%
	18.18	753.23	567.51	-32.73%
	16	941.15	644.9	-45.94%
	13.33	1270.35	773.88	-64.15%
	12.8	1356	806.12	-68.21%

75 lentelė. Y tipo mazgo sienelės išklupimo irties lyginamoji analizė priklausomai nuo rodiklio β

β	b_0/t_0	N _{i,Rd (EN)} , kN	N _{i,Rd (str)} , kN
0.3125		284.05	161.22
0.5		378.89	257.96
0.625	20	442.12	322.45
0.75	20	505.34	386.94
0.875		568.57	451.43
1		631.8	515.92

Y tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas



1 pav. Y tipo mazgo skaičiuojamoji schema

76 lentelė. Y tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 0.75$

β=0,75	b_0/t_0	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	E _{sienelėje}	$\epsilon_{sienelėje}/\epsilon_{juostoje}$
	32	1050.8	0.003082	329.95	0.001274	58.65%
	26.67	754.31	0.002534	271.4	0.001045	58.78%
	25.4	715.56	0.002543	262.85	0.000988	61.13%
	22.54	548.65	0.002313	228.16	0.000787	66.00%
0.75	20	406.19	0.002423	193.39	0.000762	68.56%
	18.18	368.39	0.001957	179.69	0.000695	64.50%
	16	296.08	0.001145	156.5	0.000594	48.16%
	13.33	224.09	0.000664	124.38	0.000489	26.36%
	12.8	267.11	0.000547	121.39	0.000436	20.28%

⁷⁷ lentelė. Y tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 0.875$

β=0,875	b_0/t_0	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	Esienelėje	Esienelėje/Ejuostoje
	32	951.54	0.002827	483.74	0.001759	37.80%
	26.67	760.68	0.001718	400.14	0.001513	11.94%
	25.4	737.38	0.001645	381.15	0.001427	13.27%
	22.54	697.21	0.001489	330.18	0.001247	16.22%
0.875	20	710.51	0.001353	282.54	0.001096	19.03%
	18.18	549.16	0.001058	268.45	0.001008	4.74%
	16	403.66	0.001	228.79	0.000858	14.21%
	13.33	221.73	0.000891	182.39	0.000673	24.47%
	12.8	189.28	0.000861	177.44	0.000674	21.72%

78 lentelė. Y tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 1,0$

β=1,0	b ₀ /t ₀	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	Esienelėje	€sienelėje∕Ejuostoje
1	32	640.59	0.002112	553.18	0.002019	4.40%
	26.67	541.94	0.001981	455.69	0.001747	11.80%

25.4	518.43	0.00189	438.04	0.001636	13.42%
22.54	462.94	0.0017	370.49	0.001433	15.69%
20	429.58	0.001368	325.2	0.001267	7.35%
18.18	384.33	0.001279	301.93	0.001165	8.94%
16	340.52	0.001148	264.61	0.000994	13.45%
13.33	302.66	0.00102	206.31	0.000801	21.41%
12.8	293.2	0.000988	203.27	0.000762	22.95%

K tipo mazgų įtempių ir deformacijų pasiskirstymas



2 pav. K tipo mazgo skaičiuojamoji schema

79 lentelė.	K tipo mazgo	itempiu ir	deformaciju	pasiskirstymas.	kai rodiklis	$\beta = 0.3125$
		1 1				

β=0,3125	γ	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	€ _{sienelėje}	$\epsilon_{sienelėje}/\epsilon_{juostoje}$	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{juostoje}$					
0.3125	16.00	3406.1	0.02432	1119.7	0.01008	58.55%	67.13%					
	13.34	2526.6	0.017996	775.32	0.006993	61.14%	69.31%					
	12.70	2016.6	0.015559	704.38	0.006242	59.88%	65.07%					
	11.27	2298.1	0.012405	532.75	0.004735	61.83%	76.82%					
	10.00	1257.5	0.01002	558.4	0.003803	62.05%	55.59%					
	9.09	1030	0.008401	321.76	0.003155	62.44%	68.76%					
	8.00	1226.2	0.007535	254.53	0.002463	67.31%	79.24%					
	6.67	885.6	0.00624	166.79	0.001659	73.42%	81.17%					
	6.40	821.88	0.005668	152.87	0.001507	73.42%	81.40%					
80 lentelė.	. K tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 0,625$											
β=0,625	γ	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	E _{sienelėje}	Esienelėje/Ejuostoje	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{juostoje}$					
0.625	16.00	3563.1	0.025752	1166	0.009908	61.53%	67.28%					
	13.34	2782	0.020129	1231.3	0.008071	59.90%	55.74%					
	12.70	2614.9	0.015646	827.94	0.007341	53.08%	68.34%					
	11.27	2082.1	0.012321	663	0.005736	53.45%	68.16%					
	10.00	1289.4	0.009622	553.86	0.004232	56.02%	57.05%					
	9.09	1171	0.00839	505.76	0.003587	57.25%	56.81%					
	8.00	990.68	0.007398	447.68	0.002789	62.30%	54.81%					
	6.67	1181.2	0.007592	353.53	0.002485	67.27%	70.07%					
	6.40	1036.8	0.007446	338.58	0.001836	75.34%	67.34%					
β=0,5	γ	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	Esienelėje	σ _{c,brace,j} , Mpa	σ _{c,brace} , MPa	$\epsilon_{sienelėje}/\epsilon_{juostoje}$	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{juostoje}$	$\sigma_{juostoje}/\sigma_{c,bracej}$	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{c,brace}$	
-------------	--	--------------------------------	-----------	---------------------------------	------------	---------------------------------	-------------------------------	--	--	---------------------------------------	---------------------------------------	--
0.5	16.00	3665.7	0.025213	1212	0.010539	3661	891.3	58.20%	66.94%	-0.13%	-35.98%	
	13.34	2833.8	0.021288	1590	0.009651	3002	836.1	54.67%	43.89%	5.60%	-90.17%	
	12.70	2577.8	0.018535	1421.1	0.008597	2823	831.7	53.62%	44.87%	8.69%	-70.87%	
	11.27	2042.8	0.01339	691.23	0.006195	2461	827.3	53.74%	66.16%	16.99%	16.45%	
	10.00	1677.7	0.009495	520.68	0.004661	2108	838	50.92%	68.96%	20.41%	37.87%	
	9.09	1350.1	0.008372	469.35	0.003891	1890	833.4	53.52%	65.24%	28.57%	43.68%	
	8.00	1066.9	0.00697	422.09	0.003071	1597	829.6	55.95%	60.44%	33.19%	49.12%	
	6.67	1027.1	0.006483	306.15	0.002297	1240	819.8	64.57%	70.19%	17.17%	62.66%	
	6.40	961.25	0.00641	293.45	0.002055	1179	818.2	67.93%	69.47%	18.47%	64.13%	
82 lentelė.	lentelė. K tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 0,75$											
β=0,75	γ	σ _{juostoje} , MPa	Ejuostoje	σ _{sienelėje} , MPa	Esienelėje	σ _{c,brace,j} , Mpa	σ _{c,brace} , MPa	Esienelėje/Ejuostoje	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{juostoje}$	$\sigma_{juostoje}/\sigma_{c,bracej}$	$\sigma_{sienelėje}/\sigma_{c,brace}$	
0.75	16.00	3124.4	0.021685	1014.5	0.008008	1729	797.5	63.07%	67.53%	-80.71%	-27.21%	
	13.34	2430	0.015777	875.74	0.006961	1489	789.5	55.88%	63.96%	-63.20%	-10.92%	
	12.70	2198.1	0.012949	745.71	0.006149	1388	792.4	52.51%	66.07%	-58.36%	5.89%	
	11.27	1946.3	0.010838	605.29	0.004782	1263	791.6	55.87%	68.90%	-54.10%	23.54%	
	10.00	1621	0.011454	546.97	0.003583	1161	794.5	68.72%	66.26%	-39.62%	31.16%	
	9.09	1954.6	0.009736	498.93	0.002958	1060	789.3	69.62%	74.47%	-84.40%	36.79%	
	8.00	1323.2	0.008871	444.34	0.002374	917.5	776.9	73.24%	66.42%	-44.22%	42.81%	
	6.67	1396.4	0.009007	371.46	0.00172	766.3	767.2	80.91%	73.40%	-82.23%	51.58%	

81 lentelė. K tipo mazgo įtempių ir deformacijų pasiskirstymas, kai rodiklis $\beta = 0,5$

9 priedas

Analitiniai modeliai santvaros iš kvadratinių vamzdžių tiesioginio jungimo mazgų skaičiavimo algoritmų sudarymui pagal EC3

(11-oji jaunųjų mokslininkų konferencija "Mokslas – Lietuvos ateitis")



STATYBA

11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos "Mokslas – Lietuvos ateitis", įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio mėn. 2–4 d., medžiaga

ANALITINIAI MODELIAI SANTVAROS IŠ KVADRATINIŲ VAMZDŽIŲ TIESIOGINIO JUNGIMO MAZGŲ SKAIČIAVIMO ALGORITMŲ SUDARYMUI PAGAL EC3

Ieva Misiūnaitė

Magistrantė, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, el. p. Miseva0105@yahoo.com

Anotacija. Nagrinėjama tiesioginio jungimo virintinių mazgų iš kvadratinių vamzdžių elgsena veikiant statinei apkrovai. Mazgo elgsena iliustruojama projektavimo normose Eurokodas 3. 1-8 dalis (EC3) pateikiamomis pagrindinėmis irties formomis. Aptariamas supaprastintų analitinių modelių taikymas skaičiavimo algoritmams išvesti.

Įvadas

Elementai mazge išorinių jėgų veikiami sąveikauja, vyksta kompleksinis jėgų persiskirstymas, kurio įtaka pasireiškia deformacijų forma. Elementų elgsena mazge buvo tiriama eksperimentiškai, lygiagrečiai stengiantis analitinėmis programomis sukurti skaitinę jos išraišką. Taip plieninių konstrukcijų projektavimo dokumentuose buvo suformuluoti algoritmai tipinių mazgų skaičiavimui.

Analitiniai modeliai mazgų skaičiavime naudojami elementų elgsenai jungtyje aprašyti ir pagrindiniams veikiantiems parametrams nustatyti. Modelis, kuris įvertintų visus veikiančius parametrus būtų per daug sudėtingas. Todėl naudojami idealizuoti ir supaprastinti modeliai, kuriuose įvertinami tik pagrindiniai, didžiausią įtaką turintys dydžiai, mazgo stipriui nustatyti, atsižvelgiant į elementų sudarančių jungtį elgseną. Toks analitinis modeliavimas, pagrįstas ekperimentais leido suformuluoti pusiau empirines formules mazgų skaičiavimui.

Takumo linijos modelis

Takumo linijos modelio taikymas skaičiavimo algoritmų, pateikiamų EC3, sudarymui pagrįstas lygybe tarp išorinių ir vidinių jėgų darbo. Vidinių jėgų darbas plastinių šarnyrų sistemoje, tai energija sukaupta vykstant juostos paviršiaus plastifikacijai (Wardiener, J. 1986; Partanen 1991)

Atspario skaičiavimo išraiškai gauti pasinaudosime irties mechanizmu dėl juostos plastifikacijos Y tipo mazge (1 pav.).



1 pav. Mazgo Y juostos paviršiaus irties mechanizmas (skaičiais 1-5 pažymėtos takumo linijos)

Taigi vidinis plastinių šarnyrų sistemos (ilgis l_i ir posūkio kampas φ_i) darbas bus lygus takumo linijų energijai, užrašytai:

$$E = \sum l_i \cdot \varphi_i \cdot m_p , \qquad (1)$$

Plokštumos posvyrio kampas φ_i , remiantis poslinkių mažumo principu, užrašomas pagal trikampio ABC geometrines charakteristikas (1 pav.), tada energiją kikvienos iš penkių takumo linijų (1 pav.):

takumo linija 1:
$$2b_0 \frac{2\delta}{(b_0 - b_i)\cot\alpha} \cdot m_p = \frac{4\tan\alpha}{1 - \beta} \cdot \delta \cdot m_p$$
, (2)

takumo linija 2: $2b_i \frac{2\delta}{(b_0 - b_i)\cot\alpha} \cdot m_p = \frac{4b_i \tan\alpha}{b_0(1 - \beta)} =$ $= \frac{4\tan\alpha}{1 - \beta} \beta \cdot \delta \cdot m_p$ (3)
takumo linija 3: $2\left(\frac{h_i}{\sin\theta_i} + 2\frac{b_0 - b_i}{2}\cot\alpha\right)\frac{2\delta}{b_0 - b_i} \cdot m_p =$ $= \left(\frac{4\eta}{(1 - \beta)\sin\theta_i} + 4\cot\alpha\right) \cdot \delta \cdot m_p$ (4)

čia: $\eta = \frac{h_i}{b_0}$ - tinklelio elemento skerspjūvio aukščio ir juostos skerspjūvio pločio santykis.

takumo linija 4:
$$2\frac{h_i}{\sin\theta_i} \cdot \frac{2\delta}{b_0 - b_i} \cdot m_p = \frac{4\eta}{(1 - \beta)\sin\theta_i} \cdot \delta \cdot m_p$$
, (5)
takumo linija 5: $4l_5 \left(\frac{\delta}{l_5 \cdot \tan\alpha} + \frac{\delta}{l_5 \cdot \cot\alpha}\right) \cdot m_p = ,$ (6)
 $= 4(\tan\alpha + \cot\alpha) \cdot \delta \cdot m_p$

Ribinė lenkimo momento ilgio vienete reikšmė: $m_p = \frac{f_y t_o^2}{4}$, tada visa energija bus lygi:

$$E = \frac{8 \cdot m_p \cdot \delta}{(1 - \beta)} \left(\tan \alpha + \frac{(1 - \beta)}{\tan \alpha} + \frac{\eta}{\sin \theta_i} \right) = \frac{f_y t_0^2}{(1 - \beta)} \times \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_i} + 2 \tan \alpha + 2 \frac{(1 - \beta)}{\tan \alpha} \right) \cdot \delta$$
(7)

Pasinaudoję matematinėmis nelygybėmis, pažymėtą išraiškos dalį galime užrašyti taip:

$$2\frac{\left(\tan^{2}\alpha + \sqrt{1-\beta}\right)}{\tan\alpha} \ge 2\left(\frac{2\tan\alpha \cdot \sqrt{1-\beta}}{\tan\alpha}\right) \cong 4\sqrt{1-\beta} , \qquad (7.1)$$

Iš pusiausvyros sąlygos:

$$\frac{N_{i,Ed}}{\sin\theta_i} \mathscr{I} = \frac{f_y t_0^2}{(1-\beta)} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta} \right) \cdot \mathscr{I} , \qquad (8)$$

Tuomet remiantis didelių apribojimų teorema (Coutie, M.G.; Davies, G. 1993), galime užrašyti mazgo atparumo sąlygą:

$$\frac{N_{i,Ed}}{\sin \theta_i} \le N_{i,Rd} \Longrightarrow N_{i,Ed} \le N_{i,Rd} \cdot \sin \theta_i, \qquad (9)$$

Mazgo atparis iš (8) ir (9) sąlygų yra lygus (Eurokodas 3. 1-8 dalis):

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}t_0^2}{(1-\beta)\sin\theta_i} \left(\frac{2\eta}{\sin\theta_i} + 4\sqrt{1-\beta}\right),\tag{10}$$

Juostos sienelės išsipūtimo arba lokalinio išklupimo modelis

T, Y, X mazguose, kai parametras β kinta ribose $0.85 \le \beta \le 1.0$, irtis gali įvykti, tiek dėl juostos plastifikacijos, tiek ir dėl juostos sienelės išklupimo.

Priimame, kad kai parametras β įgyja reikšmę – 1.0, mazgo irtis įvyks dėl juostos sienelės išklupimo. Irties mechanizmo schema pateikiama 2 pav.:



2 pav. juostos irties dėl sienelės išklupimo schema

Paveiksle matome, kad įtempiai juostos paviršiuje pasiskirsto
ilgyje
$$l = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5t_0$$
, tada mazgo atparis apskaičiuojamas taip:

$$N_i = f_b \cdot t_0 \cdot 2l \cdot \frac{1}{\sin \theta_i} = f_b \cdot t_0 \cdot \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t_0\right) \frac{1}{\sin \theta_i}, \quad (11)$$

čia: f_b - įtempiai juostoje, kadangi atspario reikšmė skaičiuojama ribiniu atveju, tai veikiant tempimo įrąžai $f_b = f_{y0}$, gniuždymo atveju, juostoje įvertinama lokalinio išklupimo galimybė, todėl $f_b = \chi f_{y0}$ (T, Y tipo mazgams), $f_b = 0.8\chi(\sin\theta_i)f_{y0}$ (X tipo mazgams), kur χ - klupumo koeficientas, taigi f_b kritiniai klupumo įtempiai, kurie yra juostos liaunio funkcija $f\left(\frac{h_0}{t_0}\right)$.

EC3 pateikiama tokia klupumo koeficiento priklausomybė nuo elemento sąlyginio liaunio (Eurocode 3. Part 1-1):

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}},$$
(12)

čia: ϕ , kvadratinė sąlyginio liaunio funkcija (Eurocode 3. Part 1-1):

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \left(\overline{\lambda} - 0.2 \right) + \left(\overline{\lambda} \right)^2 \right], \tag{13}$$

čia: α - pataisos koeficientas priklausantis nuo klupumo kreivės (Eurocode 3. Part 1-1).

Juostos sienelėje išskiriamas elementas (2 pav.), priimamas kaip strypas įtvirtintas dvipusiu lankstu, tada galime pasinaudoti Oilerio formule kritinei jėgai ir žinodami, kad ji naudojama tik proporcingo deformavimo ribose (Huko dėsnis), išvesime sąlyginio liaunio išraišką nagrinėjamam atvejui:

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \equiv \sqrt{\frac{f_{y0}}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{Af_{y0}}{F_{cr} \cdot \sin \theta_i}} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_{yo}}{E\left(\sin \theta_i\right)}}, \quad (14)$$

Elemento kritinis ilgis bus lygus:

$$L_{cr} = h_0 - 2t_0 \,, \tag{15}$$

Inercijos spindulio išraiška nagrinėjamam elmentui (elemento inercijos momentui išreikšti išskiriamas jo ploto elementas, kurio padėtis (atstumas nuo x ašies) yra y, o matmenys dy ir db):

$$i = \sqrt{I / A} = \sqrt{\left[\int_{A} y^{2} dA = \int_{-t_{0}/2}^{t_{0}/2} db \cdot y dy\right] / dbt_{0}} = \frac{1}{\sqrt{12}} t_{0} = \frac{1}{\sqrt{12}} t_{0} = \frac{1}{3.46} t_{0}$$
(16)

Tada sąlyginio liaunio išraiška gaunama (15) ir (16) sąlygas įrašius į (14) (Eurokodas 3. 1-8 dalis):

$$\overline{\lambda} = \frac{(h_0 - 2t_0)}{\pi \cdot \frac{1}{3.46} t_0} \sqrt{\frac{f_{yo}}{E(\sin \theta_i)}} = 3.46 \left(\frac{h_0}{t_0} - 2\right) \sqrt{\frac{f_{yo}}{E(\sin \theta_i)}} \frac{1}{\pi}, \quad (17)$$

Išplėšimo šlyties modelis

Šis modelis skirtas mazgo elementų elgsenai aprašyti, kai tinklelio elemente veikia tempimo įrąža ir santvaros juostoje sąlygojami tangentiniai įtempimai - grynoji šlytis. Ribinėje būsenoje pasireiškia juostos irtis – išplėšimas.



3 pav. Juostos išplėšimo irties mechanizmas

Galime užrašyti išskirstytą šlyjamają galią (Partanen 1991) juostos paviršiuje (storyje t_0):

$$q_{yl} = \frac{f_{y0}t_0}{\sqrt{3}},$$
 (18)

Tada iš paveikslo, matome kad ilgis kuriame pasireiškia šlytis gali būti užrašytas remiantis mazgo geometrija:

$$l = 2\frac{h_i}{\sin\theta_i} + 2b_{ep}, \qquad (19)$$

Iš mazgo pusiausvyros sąlygos (9) mazgo atsparis:

$$N_i \sin \theta_i = q_{iy} l \Longrightarrow N_i = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 2b_{ep} \right) \frac{1}{\sin \theta_i}, \quad (20)$$

Įvertinus standžio kitimą skerspjūvio perimetre, visas perimetras negali būti priimamas absoliučiai efektyviu. Efektyviojo išplėšiamosios šlyties pločio reikšmė b_{ep} buvo nustatyta ekperimentų metu ir yra lygi (Eurokodas 3. 1-8 dalis):

$$b_{ep} = \frac{10t_0 \cdot b_i}{b_0} \le b_i \Longrightarrow b_{ep} = 10t_0 \cdot \beta , \qquad (21)$$

Efektyviojo tinklelio elemento pločio modelis

Anksčiau aprašytas išplėšiamosios šlyties modelis gali būti priskiriamas mazgams su plonasieniais tinklelio elemento profiliais; mazgams kuriuose tinklelio elemento vamzdžio sienelė traktuojama, kaip sąlygiškai stora,tinklelio elemento efektyvusis plotis gali tapti kritiniu. Mazgo atpario išraiška gali būti išvesta pasinaudojant išplėšiamosios šlyties analitiniu modeliu, tik jis turi būti paremtas tinklelio elemento geometriniais parametrais ir medžiagos savybėmis.



4 pav. Tinklelio elemento efektyviojo pločio fizikinė interpretacija

Ilgis kuriame gali pasireikšti takumo įtempiai bus lygus (4 pav.):

$$l = h_i - 2t_i + b_{eff} , \qquad (22)$$

Tada mazgo atspario sąlyga bus:

$$N_{i,Rd} = f_{yi} \cdot t_i \cdot 2l = f_{yi} \cdot t_i \left(2h_i - 4t_i + 2b_{eff}\right),$$
(23)

Tinklelio elemento efektyviojo pločio išraišką galima gauti redukuojant pagal juostos charakteristikas, kadangi šis modelis taikomas tuomet, kai įtempiai tinklelio elemente sąlygoja mazgo irtį:

$$\begin{aligned} A_{0,eff} f_{y0} &\leq A_{i,eff} f_{yi} \Longrightarrow b_{ep} t_0 \cdot f_{y0} \leq b_{eff} \cdot t_i \cdot f_{yi} \Longrightarrow \\ b_{eff} &= \frac{b_{ep} \cdot t_0 \cdot f_{y0}}{t_i \cdot f_{yi}} \end{aligned}$$

$$(24)$$

čia: $A_{0,eff}$ - efektyvusis juostos vamzdžio plotas; f_{y0} - ribiniai takumo įtempiai juostoje; $A_{i,eff}$ - efektyvusis tinklelio elemento vamzdžio plotas; f_{yi} - ribiniai takumo įtempiai tinklelio elemente.

Juostos elemento šlyjamosios irties modelis

Juostos atsparis šlyčiai mazge gali būti nustatytas analitiniu būdu pasinaudojant plastinės analizės pagrindinėmis formulėmis.

Atspario šlyčiai reikšmė apskaičiuojamas iš sąlygos:



5 pav. Juostos šlyjamosios irties modelis

Plotas juostos skerspjūvio sienelėje, kuriame pasireškia šlytis:

$$A_{\nu} = 2h_0 t_0 \,, \tag{26}$$

T, X, Y tipo mazgams atspario reikšmė, pasinaudojant (25) sąlyga bus lygi:

$$R_{i,Rd} = \frac{f_{yo}A_v}{\sqrt{3}\sin\theta_i},\tag{27}$$

N ir K tipo mazgams sąlyga (25), papildoma, taikant mažų tarpų analizę, juostos skerspjūvio viršutinės juostos dalimi, išnaudojama efektyviam šlyties perdavimui:

$$A_{v} = (2h_{0} + \alpha b_{0})t_{0}, \qquad (28)$$

čia: $\alpha = f(g / t_0)$ funkcija (Eurokodas 3. 1-8 dalis; Partanen 1991):

$$a = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}},$$
 (29)

Skaičiuojant K ir N tipo mazgus su tarpais papildomai tikrinamas atsparis tarpo zonoje:

$$N_{0,gap,Sd} \le (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Sd}}{V_{pl}}\right)^2} , \qquad (30)$$

Likusioji skerspjūvio dalis (neefektyvioji) perima ašinius įtempius, sąlygoje (29) pirmasis sumos narys. Antrasis narys įvertina juostos plastinio atspario sumažėjimą dėl skersinės jėgos. Paprastai šios sąveikos skaičiavimams gali būti naudojamas Von-Mizeso kriterijus (Packer, J.A).

Apibendrinimas

Pasinaudojant šiame straipsnyje pateiktais analitiniais modeliais įrodome, kad skaičiavimo algoritmai pateikiami projektavimo normose, nėra sudėtingi, beveik visus juos galima apibrėžti ribinių įtempių sąvoka. Svarbu tik žinoti mazgo elementų elgeseną jungtyje ribiniu atveju.

Žinoma besąlygiškai teigti, kad visi skaičiavimo algoritmai tai analitinė išraiška, negalima, kadangi sudėtingą įtempių būvį (būdingą K ir N tipo mazgams) aprašyti prireiktų griozdiškų formulių. To išvengti padeda daugkartinių eksperimentų metu gautos konstantos ir charakteringos funkcijos. Pavyzdžiui, juostos plastifikacijos atspario reikšmė EC3 papildoma funkcija f(n), įvertinančia įrąžas juostoje.

Nesuklysime teigdami, kad skaičiavimo algoritmai, kurie pateikiami projektavimo normose, yra gerai suderinta analitinė ir eksperimentinė mazgo irties interpretacija.

Ltieratūra

- CIDECT design guide for Ractangular Hollow Sections (RHS) joints under predominantly static loading, Germany.
- Coutie, M.G.; Davies, G. 1993. Tubular Structures V. London
- Eurocode 3 (1993). Design of Steel Structures- Part 1.1: "General -
- General Rules and Rules for Buildings", English Version, 2003

European Committee for Standardization, Brussels.

- Eurokodas 3 (1993). Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-8 dalis. Mazgų projektavimas. (LST EN 1993 1 8 :2005).
- Koskimaeki, M.; Niemi, E. (1989). Finite Element Studies on the Behavior of Rectangular Hollow Section K-joins. Tubular Structures, 3-rd International Symposium, Finland, p. 260-274.
- Liu, D. K.; Yu, Y.; Wardenier J. (1998a). Effect of boundary conditions and chord preload on the strength of RHS uniplanar gap K- joint. Tubular structures, 8-th International Symposium, Singapore, p. 231-238.
- Packer, J.A. Theoretical behavior and analysis of welded steel joints with RHS chords. CIDECT, Final Report 5U-78/19.
- Partanen, T. (1991). On convergence of yield line Theory and
- Nonlinear FEM results in plate Structures, Tubular Structures,
- 4th International Symposium, Delft, p. 313-323.
- Sarada, S.; Fleischer, O.; Puthli, R. (2002). Initial study on the static strength of thin walled Rectangular Hollow Section (RHS) K joint with gap. The 12-th International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, p. 26-33.
- Wardenier, J.; Giddings, T.W. The strength and behavior of statically loaded connections in structural hollow sections, CIDECT Monograph No 6, 1986.
- Wardenier, J. (1982). Hollow section joints. Delft.
- Wardenier, J.; Stark, J.W.B. (1980). The static strength of welded lattice girder joints in structural, hollow sections, ECSC Report.

ANALITICAL MODELS OF WELDED TRUSS JOINTS BETWEEN SQUARE HOLLOW SECTIONS FOR EQUATIONS IN EC3

I. Misiūnaitė

Summary

It was analysed the behaviour of welded connections between square hollow sections under predominantly static loading. The behaviour of joint was illustrated with failure modes from Eurocode 3. Part 1-8 (EC3). It was presented simplified analytical models used to determine estimations for joint strength calculations.