

IEVADS

Kombinētās sistēmas - konstrukcijas, kurās racionāli tiek izmantotas katra konstruktīvā elementa stiprākās puses (spēja lielākai pretestībai, izstiepšanai, saspiešanai, izliekšanai), bieži kļūst visai ekonomiskas un arhitektoniski izteiktas. Šie segumi ir plaši izplatīti ēku būvē ar lieliem laidumiem, piemēram, sporta zāles, stadioni, izstāžu paviljoni, kinoteātri, tirdzniecības zāles, cirki, tirgi, aerostacijas, garāžas, ražošanas ceļi, tilti, viadukti.

Kombinētas konstrukcijas kvalitatīvi atšķiras no tradicionālajām tērauda konstrukcijām. To galvenās priekšrocības ir šādas:

- a) Mazākās deformēšanās iespējas, salīdzinājumā ar nokareniem vanšu sistēmām. Tas ļauj izmantot caurspīdīgus segumus un tas paplašina konstrukciju lietošanas sfēras;
- b) Līdz ar sedzamā posma palielināšanos pieaug seguma ekonomiskums, jo nesošās konstrukcijas masa paliek relatīvi maza;
- c) Vanti, kuri savīti rituļos, vai plānu lapu lentas, kuras satītas ruļļos, nodrošina labu seguma transportējamību;
- d) Savdabīgās seguma konstruktīvās formas dod iespēju paaugstināt būves estētisko izteiksmi;
- e) Lielākajā daļā gadījumu, pateicoties savai formai, nokarenie segumi veido ēkā visvairāk labvēlīgos akustikas, redzamības un apgaismojuma apstākļus;
- f) Salīdzinājumā ar nokareniem vanšu konstrukcijām nerodas ūdens novadīšanas no seguma grūtības.

Kombinētām konstrukcijām piemīt arī daži konstruktīvie trūkumi:

- a) Sarežģītie tehnoloģiskie montāžas risinājumi, kas palielina seguma cenu;
- b) Aprēķinu darbietilpība.

1.1. KOMBINĒTO VANŠU TIPA PĀRSĒGUMU APSKATS

1.1.1 Kombinētas konstrukcijas

Konstrukciju sistēmas tiek uzskatītas par kombinētām, ja tajās ir apvienotas galvenās nesošās konstrukcijas – loki (rāmji), sijas, lokanas tauvas un vantis. Sistēmas, kurās racionāli tiek izmantotas katra konstruktīvā komponenta stiprākās puses (spēja lielākai pretestībai, izstiepšanai, saspiešanai, izliekšanai), bieži kļūst visai ekonomiskas un arhitektoniski izteiktas. [2]

Vairākos kombinēto sistēmu variantos izmanto izstiepti elementi (lokanas tauvas un vantis), un tieši to izmantošana kā elementu, kur pilnīgi realizējas materiāla izturība, noved līdz racionālam risinājumam.

1.1.tabula

Kombinētas konstrukcijas

1. grupas nesošie elementi	2. grupas nesošie elementi			
	Loks (L)	Sija (S)	Tauva (T)	Vants (V)
Loks (L)		L+S 	L+T 	L+V
Sija (S)	S+L 		S+T 	S+V
Tauva (T)	T+L 	T+S 	T+T 	T+V
Vants (V)	V+L 	V+S 	V+T 	

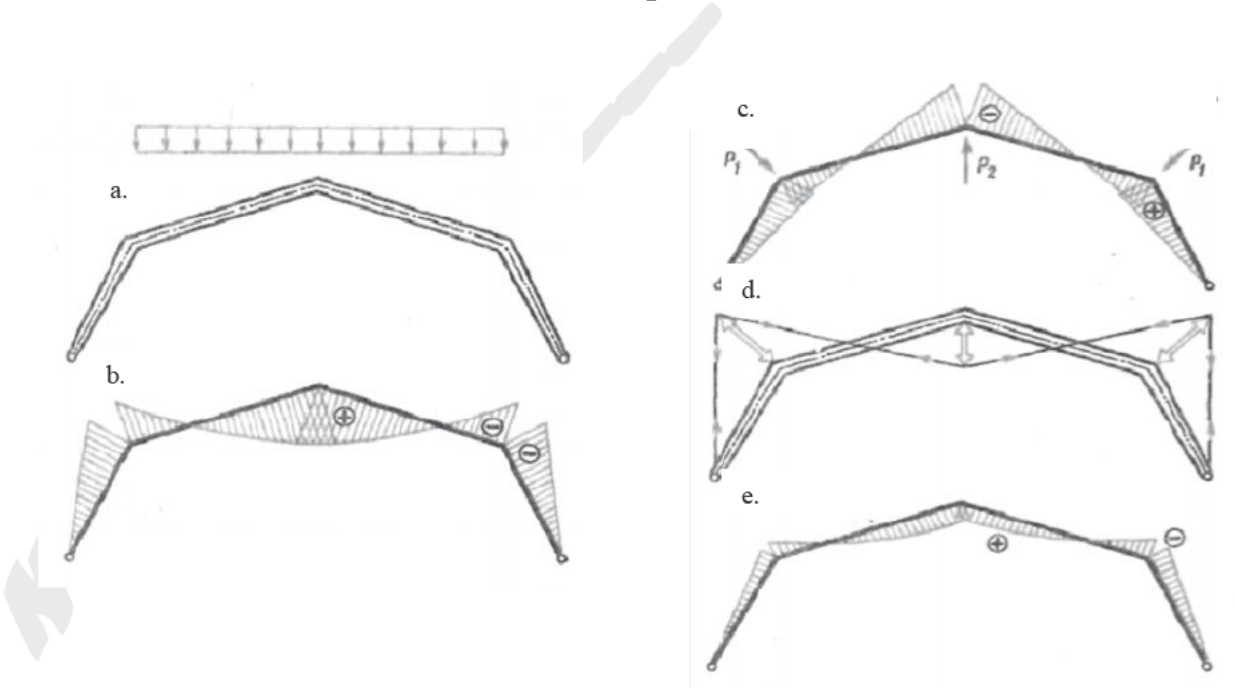
1.1. tabulā ir parādītas nesošo konstrukciju principiālas kombinēšanas shēmas, kas strādā kopīgi, kaut gan virknē gadījumu ir grūti uzstādīt viena sistēmas komponenta spēka prioritāti cita priekšā.

Shēma (S+L) – vienīgā no tām, kur trūkst izstieptu tauvu. Tās – loks ar stingru savilkni un sija, nostiprināta ar loku – shēmas, nereti izmantotas tiltu būvē. Shēmā (T+T), otrādi, trūkst stingru konstruktīvu elementu. Tai atbilst daudzveidīgas trošu kopnes.

Shēmā (S+V) tiek attēlota špreņģeļveida sija – nostiprināta ar statni, kas ir atbalstīts ar divām vantīm. Tā tiek plaši pielietota samērā nelielu laidumu pārsegšanai.

Shēmā (S+T) atšķiras no (S+V) ar to, ka lielākais skaitlis pastipriņošu statņu, iedarbojoties uz šķērso slodzes savilkni, pārvērš to pēc darba rakstura par lokanu tauvu, kas stiepjas no balsta uz balstu.

Shēmā (L+T) loks ir saistīts ar lokanu tauvu blakus statnim, kuri pārbauda sastiepumu pieliekot smagumu uz loku vai izstiepumu noslogojot tauvas. Pie vienādiem ass loka un tauvas apveidiem un pie vienāda noslogojuma spraišļi (loks sastiepts, tauva izstiepta) savstarpēji dzēšas un ārēji konstrukcija paliek bez spraišļu



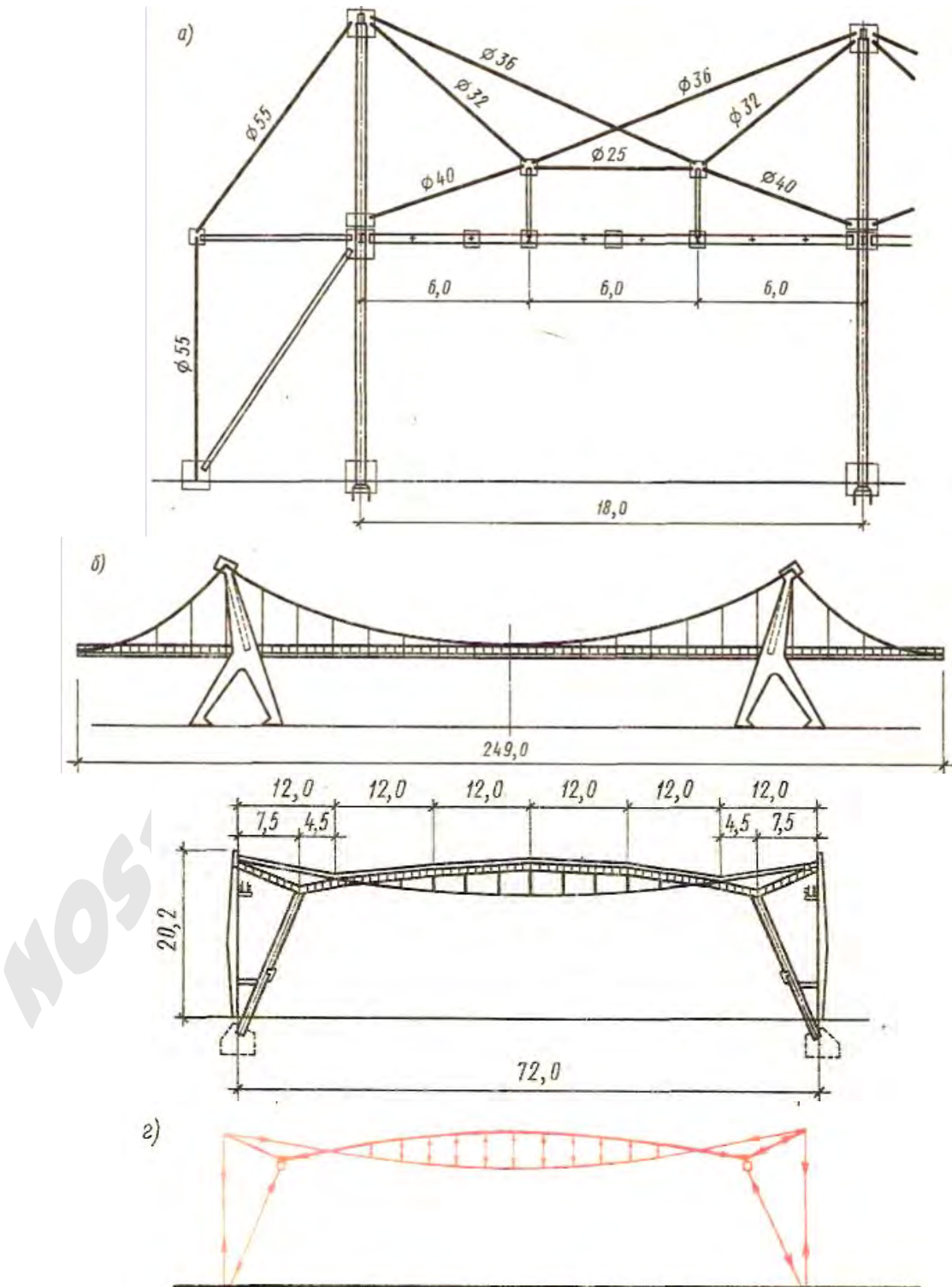
1.1.att. (L+T) tipa kombinētās konstrukcijas darba shēma:

- a – 1. kārtas nesošais elements – loks (ietvars); b – tam atbilstoša epīra M; c – ideja – koncentrētu spēku pielikuma zīmes izmaiņas momenta P; d – realizācijas ideja – spraišļu ieviešana balstīti uz nītiem; e – rezultāts – epīras „saīsināšana” M.

Shēmā (L+V) loka un vants kombinācija parāda mērķi, piešķirot lokam stabilitāti tās izlieces plaknē, kas pieļauj projektēt vieglākus lokus.

Vantis izmanto tāpat, ka ar ierobežošanas līdzekli lokanu tauvu kinemātisko pārvietojumu pēc shēmas (V+T). Šādu paņēmieni pielieto nokarenu pārsegumu telpās, kad dažu posmu

greizums ir nenozīmīgs un ir bīstamība tās vēja atsūkņēšanas iedarbībā. Konkrētāk, ar šo mērķi vanti tika izmantoti zināmās Lomas-arēnas segumā (ASV).



1.2.att. Kombinētas vanšu konstrukcijas:

- a -vanti + sijas - rūpnieciska ēka ar kolonnas soļiem 18x18 m (pilsēta Kimner, Francija);
- b - lokana tauva + sija (fabrika pilsētā Mantue, Itālija); - lokana tauva + sija (fabrika pilsētā Mantue, Itālija);
- c, d - ir lokana tauva+divkonsoļu sija (sporta zāle «Zenīts» Sanktpēterburgā).

Shēmas (T+L) un (T+S) loku un siju konstrukcijas bieži izmanto darba atvieglojumam (att. 1.1.). Viens no shēmas (T+L) realizācijas pirmajiem piemēriem var kalpot sistēma «tauvas + keramiska velve» ar laidumu 25 m, izstrādāta inženierim N. Nabokovam Pēterburgā, 1841 gadā. Shēma (T+S) tika izmantota P.L. Nervim, kļūstot par klasisku piemēru fabrikas ēku Mantue (att. 1.2. b).

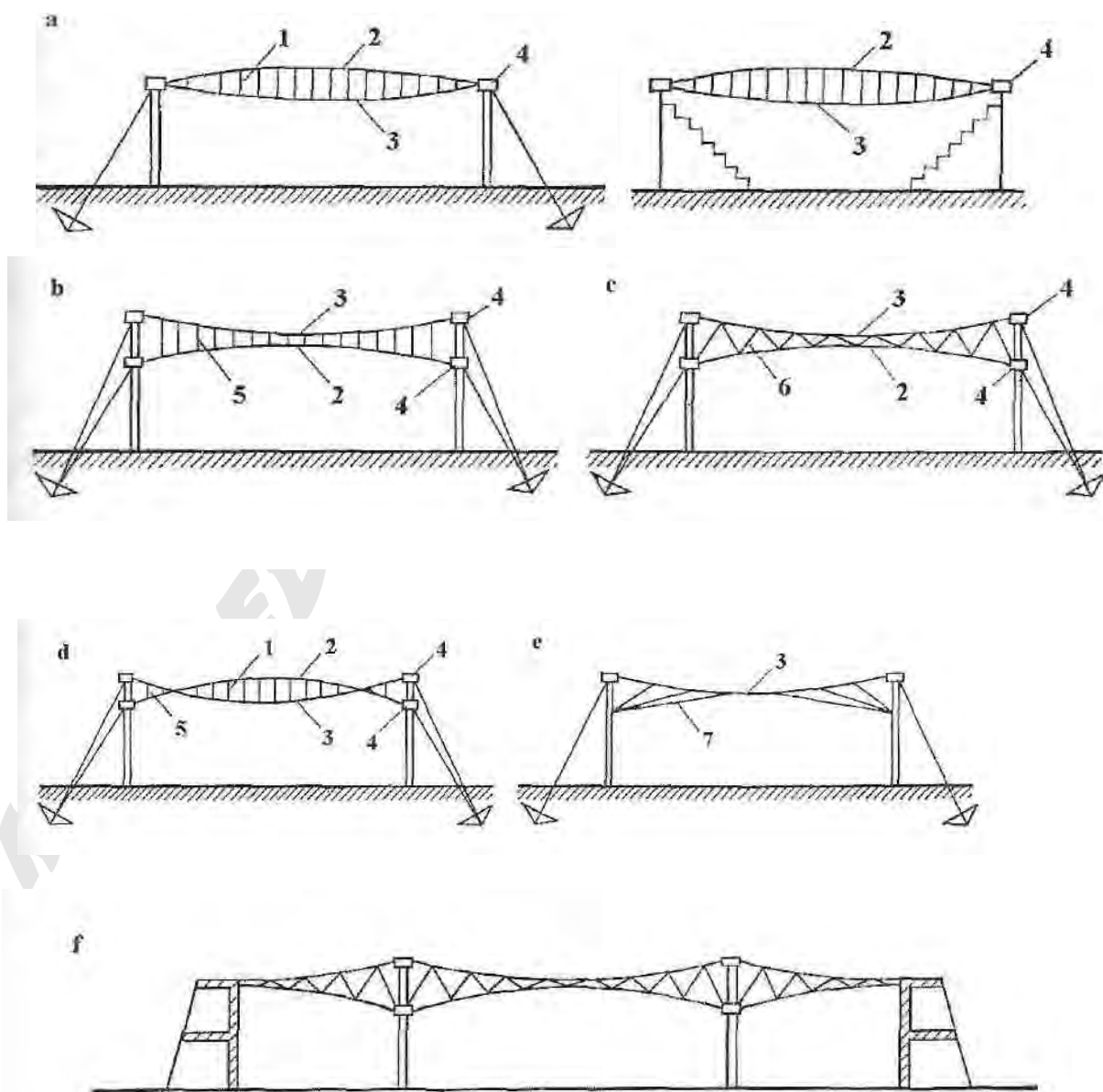
Shēma (T+V) pārstāv vienu no vienas joslu nokaru konstrukciju stabilizācijas praktizējamajiem paņēmieniem ar tauvu atvilkšanas palīdzību.

Shēmas (V+L) un (V+T) var būt izmantotas noturības piešķiršanai ar vants palīdzību lokiem vai lokaniem pavedieniem pie vienpusīgas slodzes darbības (sniegs, vējš).

Shēma (V+S), kur vanti atbalsta cieto siju, ļoti plaši tiek izmantoti ēku pārsegšanai. Vants tipa kārtojums „stars” ir parādīts shēmas kreisajā daļā, bet labējā – „arfa”. Tāpat kā shēma (T+S), tās abas bieži sastopamas tiltu būvē, kur to estētiskās īpašības ir neapšaubāmas un atzītas. Pie sijas aizstāšanas ar plātni parādās telpiskas shēmas variants (V+S).

1.1.2 Divu joslu nokarenie segumi ar paralēlām vantīm.

Vanšu pāru izvietojanas gadījumā vienā vertikālā plaknē var iegūt izturīgu, vāji deformējamo segumu pie viegla jumta seguma. Lai to iegūtu, ir nepieciešams tā konstruēt nesošo seguma sistēmu, lai vienas vantis būtu ieliekta un citas izliektas. 1.3. att. ir sniegtas dažādas šādu vidu joslu segumu shēmas. [2]



1.3. att. Divu joslu segumu sistēmas ar paralēlām vantīm, a - ar spraišļiem starp vantīm; b - ar elastīgām piekarēm; c - ar izstieptām atsaitēm; d - ar saspiesti un izstieptiem balstiem; e - ar gareniskām nostiepšanām; f- daudz laidumu sistēma; 1 - spraišļi; 2 stabilizējošais (spriegojošais) vants; 3 - nesošais vants; 4 - borta elements; 5 - piekares; 6 - sašķēlumi; 7 - gareniskās nostiepšanas.

Neatkarīgi no savstarpējā izvietojuma ieliektie vanti vienmēr ir nesošie, izliektie uz augšu stabilizējošie. Ieliektie vanti uzņem visu slodzi no seguma masas un papildus slodzi no iepriekšējās seguma nesošās sistēmas slodzes. Uz augšu izliektie vanti ir paredzēti tikai iepriekšējās seguma slodzes nodrošināšanai. Palielinot slodzi uz segumu, slodze uz tiem samazinās, tāpēc stabilizējošie vanti tiek nostiepti ar tādu aprēķinu, lai jebkuru slodžu apvienojumu gadījumā tajos vienmēr paliktu noteikta izstiepšanas slodze.

Balstbīde no vantīm caur borta elementiem tiek nodots uz nostiepējiem vai rāmja konstrukcijām (piemēram, turbīnām). Tāpat kā vienas joslas segumos borta elementi mājas šķērsgrīzumā var atrasties vienā vai dažādos līmeņos un balstbīde var tikt uztverts kā balsta konstrukciju kombinācija no nostiepējiem un rāmjiem, kas dod iespēju iegūt dažādas izteiksmes ēkas ar šādu segumu. Borta elementi segumā tiek pielietoti ne vienmēr: tie var nebūt, ja vanšu kopņu un balsta konstrukciju intervāls sakrīt un balstu gareniskā stabilitāte ir nodrošināta.

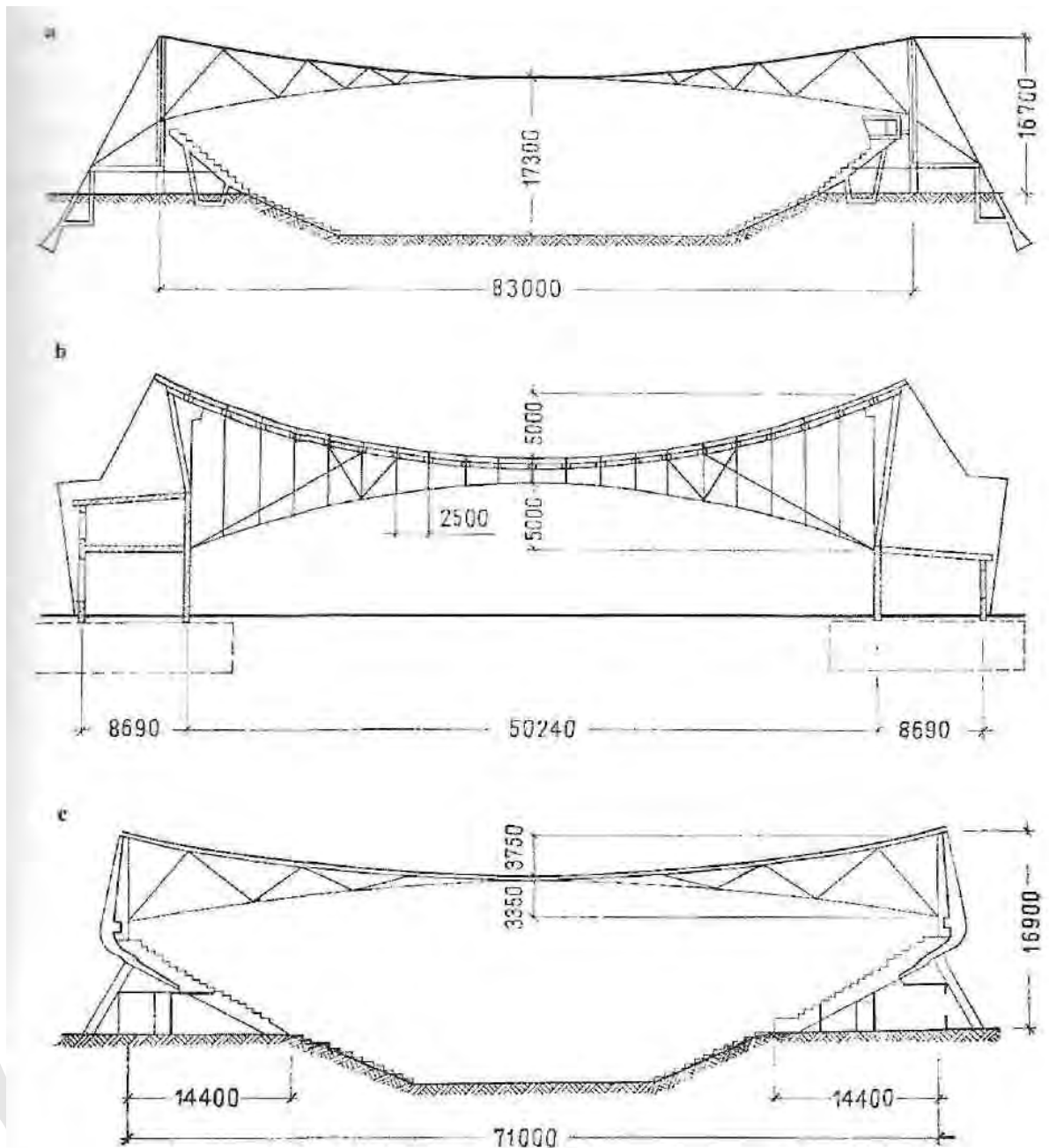
Segumā pēc shēmas, kura attēlota 1.3.a att., nesošie un stabilizējošie vanti ir savienoti ar spraišļiem. Tā kā spraišļi ir paredzēti spiedošo spēku uztveršanai, uz tiem izturības nolūkos tiek patērēts būtisks metāla daudzums. Iepriekšējā seguma slodze tiek iegūta pagarinot balstus ar speciālām uzdevām vai nostiepjot vantis no balstu pusēs. Seguma veidošana tiek apgrūtināta vanšu kopņu neizturīguma dēļ, tāpēc ir nepieciešams paredzēt saites to atslābināšanai. Horizontālo saišu funkciju var pildīt jumta segums.

Izvietojot stabilizējošās vantis zem nesošajiem (1.3.b att.), vertikālie balsti pārvēršas par izstieptām piekarēm, tāpēc pēc tērauda izlietojuma seguma sistēma kļūst efektīvāka. Ja piekares uzstāt ar izstieptām atsaitēm, tad tiks iegūta ne tikai ekonomiska, bet arī stabilāka visā savā plaknē seguma sistēma. (1.3.c. att.).

1.3.d. att. ir parādīts seguma risinājuma variants, kad vanšu kopņu būvēšanas augstums ir salīdzinoši neliels pie dota slāņu slīpuma: šajā gadījumā vantīm vajag krustoties posmā, kā rezultātā balstu garums izrādās mazāks, un posmos pie borta elementiem tiek uzstādītas piekares, kuras paredzētas izstiepšanai.

Trošu kopnes spēj segt posmus ne lielākus par 100m, bet jau 18...24 m garos posmos tās veiksmīgi konkurē ar parastajām spāru kopnēm, īpaši daudz posmu segumos, kur to balstbīdes savienotajos posmos savstarpēji tiek dzēstas.

Apskatītā tipa segumi strādā tikai pēc vanšu shēmas. Tie parasti tiek pielietoti taisnstūra plāna viena posma un daudzposmu ēkām. Kā divu joslu sistēmu pielietošanas piemēri 1.4. att. ir sniegti konstruktīvie segumu risinājumi.



1.4. att. Divu joslu segumu ar paralēlam vantīm pielietojanas piemēri. a - hokeja stadions Stokholmā; b - autobusu parks Berlīnē; c - sporta zāle Sokoto.

Trošu kopņu intervāls tiek noteikts no 3 līdz 6 m atkarībā no jumta paneļu nesošajām spējām (parasti profilētā seguma vai cinkoto tērauda lapu ar siltinātāju un hidroizolāciju veidā). Kā trošu kopņu joslas tiek izmantotas vienkārtējas vai dubultīgas savijas no augstas izturības stieples. Saspiestie balsti (spraišļi) parasti tiek veidoti no caurulēm, izstieptie balsti (savilkņi) - no tauvām vai armatūras tērauda. Garuma regulēšanas nepieciešamības gadījumā spraišļus un savilkņus aprīko ar sastiepšanas uzdevām.

Tauvas nokares vērtība $f = 1/10 \dots 1/25$ no posma, pie tam nesošai tauvai tā ir nedaudz

lielāka nekā stabilizējošai. Jo lielāka ir tauvas nokare, jo mazāks spēks ir tajā, bet jo lielāks ir seguma būvniecības augstums. Spraišļu (vai saišu) intervāls ir saistīts ar jumta konstrukciju un ir atkarīgs no jumta paneļu, posma platuma un kopnes augstuma. Parasti izmēri ir 2,5...5m. Balstoties uz minēto, ņemot vērā visas divu joslu segumu ar paralēlām vantīm rocības un trūkumus, apskatīsim abpusēji ieliekto kopnes shēmu ar izstieptiem

NOSPĪED.LV

1.1.3 Vanšu veidi, kuri tiek pielietoti iekarinātos pārsegumos.

Kā vanšu materiāls iekarinātos pārsegumos tiek izmantots tērauds, kurš tiek pielietots šādā veidā:

- a) tauvas
- b) troses
- c) augstas izturības stieples.

Salīdzinoši nelieliem laidumiem tiek izmantoti vantī no armatūras tērauda periodiskās A-III un A-VI klases. Maksimālais kodolu armatūras diametrs vantīm ir 40 mm. Karsti velmētas kodola armatūras tērauda sortiments ir sniegts 1.2. tab.

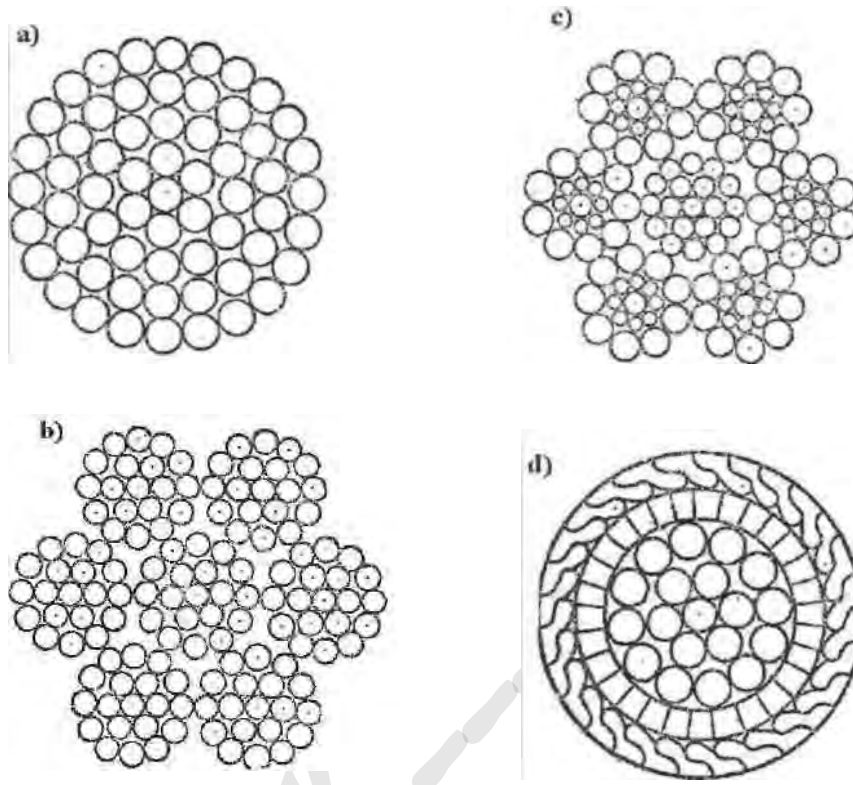
1.2.tabula

Periodiskā profila karsti velmētā kodola armatūras sortiments pēc GOST 5781 - 75
iekarinātiem pārsegumiem

Nominālais diametrs, mm	Šķērsriezuma diametrs, cm ²	Masa 100 m, kg
16	2.011	157.8
18	2.545	199.8
20	3.142	246.6
22	3.801	298.4
25	4.909	385.3
28	6.158	483.4
32	8.042	631.4
36	10.18	799
40	12.56	987

Visai plašu pielietojumu vantīs ieguva šādu veidu tērauda tauvas (1.5. att):

- a) vienkārtēja savijuma (šķipsnu vai spirālveida)
- b) dubultēja savijuma (trošu)
- c) daudzkārtēja savijuma (kabeļtauvas)



1.5. att. Tērauda tauvu veidi

a - spirāļu; *b* - septiņu joslu TK7x19;

c - septiņu joslu TLK-RO; *d*- spirāļu segtā

Iekarinātiem pārsegumiem galvenokārt tiek izmantotas vienkārtēja un dubulteja savijuma tauvas, to sortiments ir norādīts 1.3. tab.

1.3. tabula

Tauvas iekarinātiem pārsegumiem.

Tauvas diametrs, mm.	Aprēķinātais visu stiepļu griezumā	Aprēķinātā tauvas 1000 m	Tauvas diametrs, mm	Aprēķinātais visu stiepļu griezumā	Aprēķinātā tauvas 1000 m masa, kg
Vienkārtēja savijuma, TK. tipa tauva konstrukcijas 1x37(1 + 6 + 12 + 18) pēc GOST 3064 - 80					
12/1.7	84.26	719	20/2.8	228.74	1955
12.5/1.8	94.44	806	21/3	262.51	2240
14/2	116.89	993.6	22.5/3.2	298.52	2550
15.5/2.2	141.37	1200	24/3.4	337.03	2875
17/2.4	168.17	1425	27/3.8	420.84	3590
18.5/2.6	197.29	1685			

Tauvas diametrs, mm.	Aprēķinātais visu stiepļu griezumam	Aprēķinātā tauvas 1000 m	Tauvas diametrs, mm	Aprēķinātais visu stiepļu griezumam	Aprēķinātā tauvas 1000 m masa, kg
Vienkārtējā savij urna TK tipa tauva konstrukcijas 1x37 (1 + 6 + 12 + 18) pēc GOST 3064 - 80					
12/1.7	84.26	719	20/2.8	228.74	1955
12.5/1.8	94.44	806	21/3	262.51	2240
14/2	116.89	993.6	22.5/3.2	298.52	2550
15.5/2.2	141.37	1200	24/3.4	337.03	2875
17/2.4	168.17	1425	27/3.8	420.84	3590
18.5/2.6	197.29	1685			
Divkārtēja savij urna tauva tipa LK - RO konstrukcijas 6x36 (1 + 7 + 7/7 + 14) + 7x7 (1 + 6) pēc GOST 7669 - 80					
28	373.25	3495	45.5	991.84	9045
30	422.76	3890	49	1163.04	10600
32.5	487.48	4445	52	1304.05	11850
35.5	580.11	5290	57	1520.73	13900
36.5	646.37	5895	61.5	1782.25	16250
39	716.29	6530	64	1880.27	17148
41	796.83	7265	68	2058.71	18775
42	843.90	7965	72	2316.38	21125
Divkārtēja savij urna tauva tipa LK - R konstrukcijas 6x19 (1 + 6 + 6/6) + 7x7 (1 + 6) pēc GOST 14954 - 80					
8	29.68	272.5	23	247.17	2265
8.8	35.7	327.5	25	279.27	2560
9.7	42.3	388	27	337.27	3090
11	53.58	491.5	29.5	404.55	3705
12	61.92	568	31	449.85	4125
12.5	70.91	650.5	33	497.7	4565
14	86.36	792	36	589.81	5410
15	100.48	921.5	35.8	674.88	6190
16.5	121.24	1115	41	768.45	7050
18	143.99	1320	46.5	988.71	9065
19	165.68	1520	49.5	1117.11	10250

20.5	192.11	1765	55	1379.27	12650
22	217.06	1990			
Slēgtā nesošā tauva pēc GOST 7676 - 73					
50	1713.8	14695.1	60	2408.69	20636.0
52	1846.16	15828.3	65	2763.97	23673.1
54	1988.1	17043.7	70	3231.84	27671.2
55	2016.33	17280.6			

Tauvās ar stieplu punktu pieskaršanos (TK) savijurna slīpuma leņķis joslās ir pastāvīgs, tāpēc savijumu intervāls posmos ir atšķirīgs un stieples tajos pieskaras viena otrai atsevišķos punktos. Tauvās ar stieplu lineāro pieskaršanos (LK) savijuma intervāls visās šķipsnās joslās ir vienāds. Šī īpašība ietekmē tauvu izturīgumu: LK tipa tauvas ir elastīgākas salīdzinot ar TK tipa tauvām.

Tauvas tiek izgatavotas no augsta izturīguma tēraudu ar laika pretestību pārraušanai: 1176, 1274, 1372, 1470, 1568, 1666, 1764, 1862 un 1960 MPa. Tauvas pārraušanas slodze ir mazāka par summāro stieplu pārraušanas slodzi. Atkarībā no tauvas konstrukcijas šie zaudējumi sastāda 15 - 19% TK tipa tauvām konstrukcijas 1 x 35 un LR-R tipa konstrukcijas 6 x 19; 20 - 25% TLK - RO tipa tauvām konstrukcijas 6 x 36. Tauvas vītā struktūra samazina sākotnējo tauvas elastīguma moduli pie vienkārtēja savijuma par 15 - 35% un pie dubultēja savijuma par 50 - 65%.

Elastīgo deformāciju novēršanas un sākotnējā elastīguma moduļa paaugstināšanai ir nepieciešams pakļaut iepriekšējam stiepumam apmēram 2 st. laikā ar slodzi 65 - 75% no pārraušanas slodzes. Pēc stiepuma elastīguma modulis slēgtām spirāļu tauvām sastāda 167 GPa, spirāļu tauvām ar metāla kodolu - 147 GPa un tauvām ar ierobežotu kodolu - 127 GPa.

Tauvām no saišķiem tiek izmantota augsta izturīguma stieple, gluda vai periodiskā profila 4 - 6 mm diametrā. Mazāku izmēru stieple tiek intensīvāk pakļauta korozijai, lielāku izmēru stieple grūtāk pakļaujas apstrādei un tai ir mazāka aprēķinātās pretestības vērtība.

Balstoties uz minēto, šim konstrukcijas veidam vislabākās ir dubultējā savijuma tauvas LK - RO tipa konstrukcijas 6 x 36 un dubultējā savijuma tauvas LR-R tipa konstrukcijai 6 x 19 ar laicīgo pretestību pārraušanai 1764 MPa.

1.1.4 Darba mērķis.

Maģistra darba mērķis ir noteikt no materiāla patēriņa un maksimāla vertikāla pārvietojuma viedokļa racionālo kombinēta vanšu pārseguma formu. Apskatīt un pārbaudīt deformācijas samazināšanas iespējas.

Šī mērķa sasniegšanai ir nepieciešams atrisināt šādus uzdevumus:

- Izvēlēties racionālo no materiāla patēriņa un maksimāla vertikāla pārvietojuma viedokļa pārseguma konstrukciju, pamatoties uz konstrukciju salīdzinājumu.
- Noteikt sakarību starp kombinēta vanšu pārseguma maksimāliem vertikālajiem pārvietojumiem un ģeometriskiem raksturlielumiem (joslu izliekumus, spraišļu soli). Aprēķinus izveidot dažiem augšējās joslas šķērsriezuma veidiem.
- Noteikt sakarību starp kombinēta vanšu pārseguma relatīvo materiāla patēriņu un ģeometriskiem raksturlielumiem (joslu izliekumus, spraišļu soli). Aprēķinus izveidot dažiem augšējās joslas šķērsriezuma veidiem.
- Noteikt kombinētam vanšu pārsegumam racionālo no materiāla patēriņa un maksimāla vertikāla pārvietojuma viedokļa joslu izliekumu un spraišļu soli.
- Optimālākai kombinēta vanšu pārseguma konstrukcijai izveidot aprēķinus, lai noteikt kombinēta vanšu pārseguma maksimāla vertikāla pārvietojuma un relatīvo materiāla patēriņa sakarību ar apakšējās joslas iepriekš sasprieguma vērtībām. Aprēķinus veidot dažiem augšējās joslas šķērsriezuma veidiem.

1.2. SKAITLISKĀ EKSPERIMENTA NOSTĀDNE

1.2.1 Kombinētas vanšu kopnes aprēķina princips

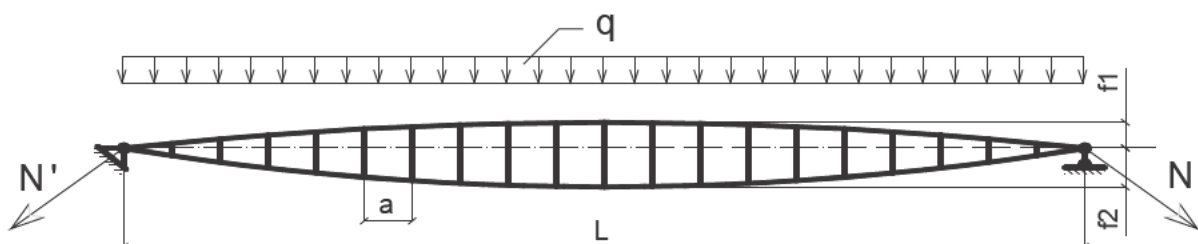
Divu joslu segumu aprēķinos tiek apskatīta viena vanšu kopne, uz kuru iedarbojas vienmērīgi sadalīta slodze. Pētāmās konstrukcijas seguma sastāvs ir sniegts 1.4. tabulā. [14]

1.4.tabula

Slodzes, kuras darbojas uz kombinēto vanšu kopni ar diviem vanšu joslām

Slodzes veids	Normatīva slodze, kgf/m^2	Slodzes drošuma koeficients	Aprēķina slodze, kgf/m^2
Pastāvīga slodze			
Tērauda trose un	20.00	1.1	22.00
Tērauda loksne	13.30	1.1	14.63
Fenola putuplasts 50mm, $\rho=60 kg/m^3$:	3.00	1.2	3.60
Ruberoids	1.20	1.2	1.44
Divkārtu ruberoids	8.00	1.3	10.40
Kopēja	45.50		52.07
Sniega slodze			
Sniega slodze	80.00	1.6	128.00
Kopēja	171.00		232.14

Nesošā un stabilizējošās vants savstarpējais izvietojums, kā arī konstruktīvie elementi starp tiem (sk. 1.6. att.) neietekmē balstbīdes noteikšanu. Slodžu sadalījums vantīs ir parādīts aprēķinu shēmā (1.7. att.).



1.6. att. Kombinētās vanšu kopnes aprēķinu shēma

Aprēķinu slodze uz vanšu kopni tiek aprēķināta šādā veidā:

$$q = q_o \cdot a \quad (2.1)$$

kur q_o - aprēķinātā sniega un seguma 1 m^2 slodze; a - vanšu intervāls gar ēku

Aprēķinātās slodzes iedarbības uz segumu gadījumā iepriekšējā stiepuma stabilizējošo vanšu slodzei nav jābūt dzēstai, kā tas parādīts 1.7.b. att. Seguma elastīguma nodrošināšanai ekspluatācijas stadijā stabilizējošajās vantīs vajag atstāt 20 - 30 % no sākotnējā stiepuma, no kā iriet, ka

$$\Delta p = (0.2 - 0.3) \cdot p_o \quad (2.2)$$

Stabilizējošās vants iepriekšējās slodzes dzēšana notiek pie šādiem nosacījumiem:

$$p_o = q \cdot \left[\frac{\alpha \cdot f_c}{\alpha \cdot f_c + f_n} \right] \quad (2.3)$$

kur: α - nesošā un stabilizējošās vants balstbīdes proporcionalitātes koeficients pie ārējās slodzes iedarbības (kā pirmo tuvinājumu tā vērtību var pieņemt 0,1 - 0,15).

Slodžu noteikšana vanšu kopnei pēc tuvinātās metodes.

Slodzes nesošajā vantī maksimālo vērtību sasniedz ekspluatācijas stadijā. Pēc vants garuma vislielākā izstiepjošā slodze darbojas pie tās galiem [1]:

$$H_n = \frac{(q + \Delta p) \cdot l^2}{8 \cdot f_n}; V_n = \frac{(q + \Delta p) \cdot l}{2}; N_n = \sqrt{H_n^2 + V_n^2}. \quad (2.4)$$

Stabilizējošais vants izjūt vislielāko slodzi seguma veidošanas stadijā:

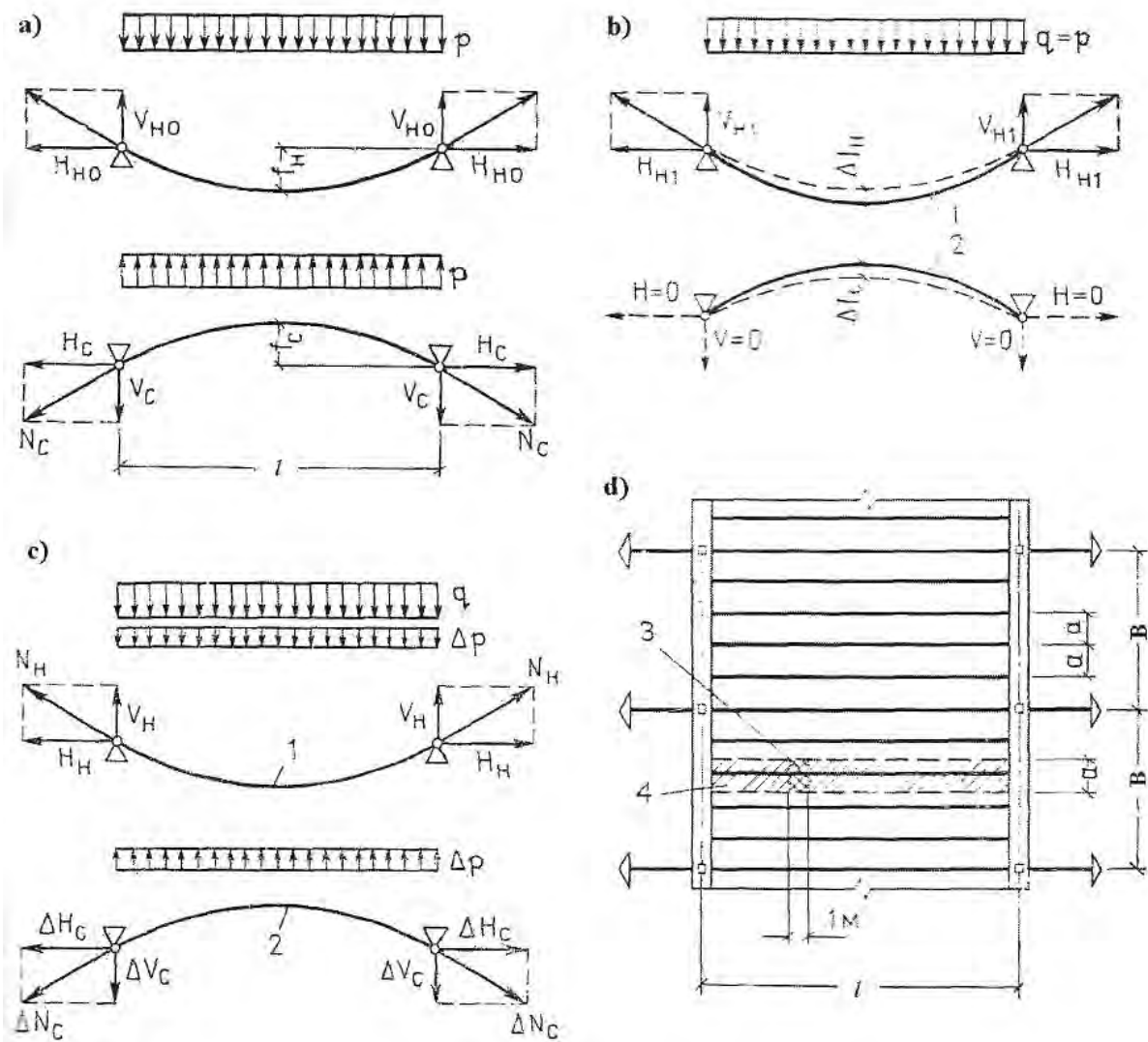
$$H_c = \frac{(p_o + \Delta p) \cdot l^2}{8 \cdot f_c}; V_c = \frac{(p_o + \Delta p) \cdot l}{2}; N_c = \sqrt{H_c^2 + V_c^2}. \quad (2.5)$$

Nesošā un stabilizējošās vants garums „sagatave” sastāda:

$$S_n = l \cdot \left[1 + \frac{8 f_n^2}{3 \cdot l^2} - \frac{H_n}{E_n \cdot A_n} \right]; S_c = l \cdot \left[1 + \frac{8 f_c^2}{3 \cdot l^2} - \frac{H_c}{E_c \cdot A_c} \right]. \quad (2.6)$$

Slīpos savilcējos starp vantīm (sk. 2.2. att.) slodzes pirmajā tuvinājuma tiek rēķinātas pēc šādas formulas:

$$N_p = \frac{(p_o + \Delta p) \cdot a_1}{\cos \varphi} \quad (2.7)$$



1.7. att. Paralēli izvietoto vanšu aprēķinu shēmas divu joslu segumā

a - iepriekšējā sprieguma stadija; b - ārējās seguma iepriekšējā sprieguma dzēšanas ar ārējo slodzi stadija; c - aprēķināta vanšu shēma ekspluatācijas stadijā; d- seguma plāns; 1 - nesošais vants; 2 - stabilizējošais vants; 3 -lineāro slodžu iedarbības laukums q, p, Ap ; 4 - kravas laukums uz vanšu kopni

1.2.2 Sākotnējo datu sagatavošana aprēķinam ar programmu "ANSYS 5.5"

Vanšu konstrukcijas ģeometriskie raksturlielumus noteikšana. Vanšu šķērsriezuma laukuma noteikšana

Šim konstrukciju veidam vislabākās ir dubultējā savijuma LR - RO tipa konstrukcijas 6 x 36 tauvas ar laicīgo pārraušanas pretestību $R_{un} = 1764$ MPa. Nesošo vanšu orientējošais šķērsriezuma laukums:

$$A_n \geq 1.6 \frac{N}{k_n \cdot R_{un}}; \quad (2.8)$$

kur k_n - koeficients, kas ietver troses pārraušanas spēka pazemināšanu attiecībā pret summāro troses pārraušanas spēku ($k_n = 0,75$ JIK - PO tipa trosēm).

b) Vanšu kopnes šķērsriezuma laukuma noteikšana.

Šim konstrukciju veidam vislabākās ir dubultējā savijuma LK - RO tipa tauvas 6 x 36 konstrukcijas ar laicīgo pārraušanas pretestību $R_{un} = 1568$ (MPa.) un dubultējā savijuma tauvas LK - R tipa konstrukcijas 6 x 19 ar laicīgi pretestību pārrāvumam $R_{un} = 1372$ (MPa.).

$$A_{n,c} \geq 1.6 \frac{N_{n,s}}{k_n \cdot R_{un}}; \quad (2.9)$$

kur k_n - koeficients, kas ietver troses pārraušanas spēka pazemināšanu attiecība pret summāro troses pārraušanas spēku ($k_n = 0.8$ JIK - PO tipa trosēm un $k_n = 0.85$ JIK - P).

c) Atsaites šķērsriezuma laukuma noteikšana.

Kā izstiepus tiek izmantotas AIII klases armatūras tērauds ar aprēķināto pārraušanas pretestību $R_y = 340$ (MPa.).

$$A_p \geq \frac{N_p}{R_y}; \quad (2.10)$$

d) Iepriekšējā sasprieguma lielumu noteikšana.

Programmā "ANSYS 5.5" iepriekšējais saspriegums tiek pielikts ar relatīvā pagarinājuma palīdzību, kuru aprēķina pēc formulas:

$$\varepsilon = \frac{N_c / A_c}{E}; \quad (2.11)$$

E - materiāla elastības modulis (tērauda trosēi $E = 1.7 \cdot 10^8$ kN/m un stiegrojuma tēraudam AIII $E = 2.06 \cdot 10^8$ kN/m²).

Vanšu konstrukcijas relatīvā materiāla patēriņa aprēķins.

Lai veiktu relatīvā materiāla patēriņa salīdzinājumu visiem veiktajiem

eksperimentiem, nosaka vanšu konstrukcijas kopējo svaru. lai noteiktu vanšu konstrukcijas svaru, vispirms aprēķinam vanšu garumu pēc formulas (2.6). Vanšu kopnes garums tiek aprēķināts pēc formulas (2.6) un tā savilcēji tiek aprēķināti ģeometriski. Tālāk aprēķina visu vanšu svaru, atrodot to pēc formulas:

$$M_i = m_i \cdot S_i \quad (2.12)$$

kur m_i - vants svars uz vienu garuma vienību pēc tabulas 1.3. Visi vanšu konstrukcijas svara aprēķini tiek veikti ar jauniem vanšu šķērsriezumiem, kas noteikti pēc iegūtajām maksimālajām piepūlēm ar datorprogrammu "LIRA". Aprēķina relatīvo materiālu patēriņu pēc formulas:

$$P_i = \frac{\sum M_i}{A_e} ; \quad (2.13)$$

kur $\sum M_i$ - vanšu konstrukcijas kopējais svars, (kg):

A_e - ēka pārsedzamais laukums, (m) ;

1.2.3 Sākotnējo datu sagatavošana aprēķinam ar programmu "LIRA"

Sākumā tiek izvēlēti optimizācijas parametri un noformēta aprēķina shēma. Tālāk tiek fakts statistiskais aprēķins ar tuvināto metodi ar programmatūru "LIRA", lai sagatavotu datus aprēķinam. Pēc iegūtajām jaunajām piepūlēm ar programmu "LIRA" tiek noteikti kombinētas vanšu konstrukcijas īstie šķērsriezumi, lai pēc tiem aprēķinātu vanšu konstrukcijas relatīvo materiāla patēriņu.

Eksperimentam aprēķina 27. kombinēto vanšu konstrukciju veidi ar joslu izmēru un spraišļu soļa variāciju. Pētījuma aprēķina 27. kombinētas vanšu konstrukcijas veidus ar dažādiem augšējā josla šķērsriezumiem (vismaz diviem šķērsriezuma tipiem).

1.5.tabula

Izejas dati

Izmantotie raksturlielumi	Apzīmējums	Mērvienība
Ievadītie raksturlielumi		
Pašvars (aprēķina slodze). („Lira”)	q_1	kg/m
Pilna aprēķina slodze (izņemot pašvaru)	q_2	kg/m
Kombinētā vanšu kopnes laidums	L	m
Kombinēto vanšu kopņu solis	B	m
Spraišļu solis	a	m
Augšējā josla sākotnējā izliekums	f_1	m
Apakšējā josla sākotnējā izliekums	f_2	m
Augšējā joslas šķērsriezuma laukums	A_1	m ²
Apakšējā joslas šķērsriezuma laukums	A_2	m ²
Spraišļu šķērsriezuma laukums	A_3	m ²
Iegūtie raksturlielumi		
Maksimālais spriegums augšējā joslā	N_1	kN
Maksimālais spriegums apakšējā joslā	N_2	kN
Materiāla patēriņš	P	kg/m ²
Maksimālais kombinētā vanšu kopnes vertikālais pārvietojums	$f(z)$	cm

Iegūtie aprēķina dati apkopo un veido materiāla patēriņa un vertikālo pārvietojumu sakarības optimizācijas uzdevuma aprēķinam.

1.2.4 Kombinētas vanšu konstrukcijas racionālo izmēru noteikšana.

Optimizācijas uzdevuma aprēķinu sāk ar eksperimenta apgabala izvēli. Eksperimenta apgabalu uzstāda mainīgo faktoru noteikšanas apgabalam. Eksperimenta apgabalu izvēlas pamatojoties uz iepriekšēju objektu pētījumu informāciju. Eksperimenta apgabalā nosaka pamat līmeņus un faktoru variācijas intervālus. Eksperimenta plānam pieņemto sākotnējo lielumu, sauc par faktora pamata vai nulles līmeni. Faktora nulles līmeni vajag pieņemt tā, lai to kombinācija pēc iespējas tuvāk atbilstu, optimālai optimizācijas parametra vērtībai. Kombinācijas nulles līmeni pieņem par izejas punktu gatavojot eksperimenta plānu. Eksperimenta plāna sagatavošana sastāv no eksperimenta punktu izvēles, simetriskus attiecībā pret izejas punktu. Par faktora variācijas intervālu sauc skaitli (atsevišķi katram faktoram), kuru palielināšana pret nulles līmeni dod augšējo faktora līmeni, bet atņemšana - zemāko. Lai atvieglotu eksperimenta rezultātu pierakstus un datu apstrādi, eksperimenta faktoru līmeņu datus kodē. Kodētā veidā augstāko līmeni apzīmē "+1", zemāko "-1", bet nulles "0". [14]

1.6.tabula

Vadāmo faktoru līmeņi kombinētai vanšu kopnei.

Mainīgais faktors	Līmeņi	Līmeņa vērtība
Saspiesta augšējā josla sākotnējā izliekums $f_1(m) - (X_1)$	Augšējs	+1
	Nulles	0
	Apakšējais	-1
Stiepta apakšējā josla sākotnējā izliekums $f_2(m) - (X_2)$	Augšējs	+1
	Nulles	0
	Apakšējais	-1
Spraišļu solis kopnē $a(m) - (X_3)$	Augšējs	+1
	Nulles	0
	Apakšējais	-1

Optimizācijas uzdevuma nostādne

Pēc abu optimizācijas parametru - deformēšanās spēja (cm) un relatīvā materiāla patēriņa (kg/m^2) iegūšanas katram eksperimentam, tiek veikta rezultātu aproksimācija ar programmu "EdaOpt", lai noteiktu kombinētas vanšu kopnes racionālos izmērus.

Kā optimizācijas parametri tiek apskatīti vanšu konstrukcijas materiāla patēriņš - P (kg/m^2), (Y') un vertikāles pārvietojums – $f(z)$ (cm), (Y").

Skaitliskā eksperimenta un plānojuma matricas rezultāti vanšu kopnei.

1.7.tabula

Pilnā 3^3 tipa faktora eksperimenta matrica

Eksperimenta Nr.	X_1	X_2	X_3	Y'	Y''
1	-1	-1	-1	Y_1	Y_1
2	+1	-1	-1	Y_2	Y_2
3	-1	+1	-1	Y_3	Y_3
4	+1	+1	-1	Y_4	Y_4
5	-1	-1	+1	Y_5	Y_5
6	+1	-1	+1	Y_6	Y_6
7	-1	+1	+1	Y_7	Y_7
8	+1	+1	+1	Y_8	Y_8
9	-1	0	-1	Y_9	Y_9
10	0	-1	-1	Y_{10}	Y_{10}
11	0	0	-1	Y_{11}	Y_{11}
12	0	+1	-1	Y_{12}	Y_{12}
13	+1	0	-1	Y_{13}	Y_{13}
14	-1	-1	0	Y_{14}	Y_{14}
15	-1	0	0	Y_{15}	Y_{15}
16	-1	+1	0	Y_{16}	Y_{16}
17	0	-1	0	Y_{17}	Y_{17}
18	0	0	0	Y_{18}	Y_{18}
19	0	+1	0	Y_{19}	Y_{19}
20	+1	-1	0	Y_{20}	Y_{20}
21	+1	0	0	Y_{21}	Y_{21}
22	+1	+1	0	Y_{22}	Y_{22}
23	-1	0	+1	Y_{23}	Y_{23}
24	0	-1	+1	Y_{24}	Y_{24}
25	0	0	+1	Y_{25}	Y_{25}
26	0	1	+1	Y_{26}	Y_{26}
27	+1	0	+1	Y_{27}	Y_{27}

NO

Eksperimenta tipa 2 un 3 gadījumā ar visu faktoru ieslēgšanu formulai ir šāda izteiksme:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \quad (2.14)$$

kur $b_0, b_1, b_2, b_3; b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ - modeļa matemātiskie koeficienti; kuri tiek noteikti ar mazāko kvadrātu metodi; X_1, X_2, X_3 - mainīgie vadāmie faktori.

$$b_{23} = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_2 \cdot X_3}{\sum_{i=0}^n X_2^2 \cdot X_3^2}; \quad (2.15)$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_1 \cdot X_2}{\sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_2^2}; \quad (2.16)$$

$$b_{13} = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_1 \cdot X_3}{\sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_3^2}; \quad (2.17)$$

$$b_{123} = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3}{\sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot X_3^2}; \quad (2.18)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_2}{\sum_{i=0}^n X_2^2}; \quad (2.19)$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_3}{\sum_{i=0}^n X_3^2}; \quad (2.20)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_1}{\sum_{i=0}^n X_1^2}; \quad (2.21)$$

Koeficientus $b_0, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ nosaka pēc vienādojuma sistēmas

$$\begin{cases} n \cdot b_0 + \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot b_{11} + \sum_{i=0}^n X_2^2 \cdot b_{22} + \sum_{i=0}^n X_3^2 \cdot b_{33} = \sum_{i=0}^n Y_i \\ \sum_{i=0}^n X_2^2 \cdot b_0 + \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot b_{11} + \sum_{i=0}^n X_2^4 \cdot b_{22} + \sum_{i=0}^n X_2^2 \cdot X_3^2 \cdot b_{33} = \sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_2^2 \\ \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot b_0 + \sum_{i=0}^n X_1^4 \cdot b_{11} + \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot b_{22} + \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_3^2 \cdot b_{33} = \sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_1^2 \\ \sum_{i=0}^n X_3^2 \cdot b_0 + \sum_{i=0}^n X_1^2 \cdot X_3^2 \cdot b_{11} + \sum_{i=0}^n X_2^2 \cdot X_3^2 \cdot b_{22} + \sum_{i=0}^n X_3^4 \cdot b_{33} = \sum_{i=0}^n Y_i \cdot X_3^2 \end{cases}; \quad (2.22)$$

Lai iegūtu regresijas vienādojuma koeficientus, nepieciešams veikt eksperimentus, kura plāna matrica dota 2.4.tabulā.

Regresijas vienādojuma koeficientu izskaitļošanai tiek izmantotas dažādas datorprogrammas. Pie viena vadāmā faktora var izmantot programmu Excel, bet pie vairākiem vadāmiem faktoriem nepieciešams izmantot programmu „EdaOpt”.

Būvkonstrukciju optimizācijas gala mērķis ir atrast to raksturojumu, kas ļauj sasniegt vislabākos rādītājus. Šo raksturojumu atrašana ir saistīta ar regresijas vienādojuma ekstrēmuma noteikšanu. Optimizācijas uzdevums ir aprakstīt tādus faktoru lielumus:

$$\overline{X^*} = (X_1^*, X_2^*, X_3^*) \quad (2.23)$$

Lai noteiktu lielumu X_1 , X_2 un X_3 optimālākas vērtības, risinām vienādojumu sistēmas, pielīdzinot matemātiskā modeļa atvasinājumu nullei.

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} = 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

NOSPĪED.LV

1.3. KOMBINĒTAS VANŠU KOPNES RACIONĀLO ĢEOMETRISKO RAKSTURLIELUMU NOTEIKŠANA

Šajā nodaļā veikta iegūto rezultātu analīze un apstrāde. Rezultāti iegūti ar datorprogrammu „ANSYS 5.5” un „LIRA” palīdzību. Rezultātu apstrāde tiek veikta attiecīgi pēc 2. nodaļas.



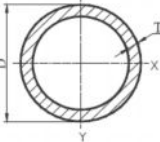
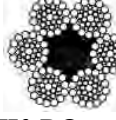
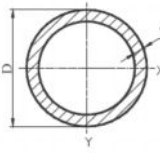
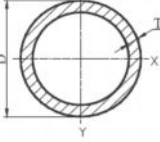


1.3.1 Aprēķinu shēmas izvēle

Saskaņā ar literatūras avotiem aptuveni noteikti kombinēto kopņu veidi, izmēri, slodze. Aprēķinu shēmas izvēlei veikti trīs sistēmu iepriekš pārbaudījumi:

1. Kombinēta vanšu kopne ar vanšu stieptām joslām un spiestām spraišļiem;
2. Kombinēta vanšu kopne ar spiesto augšējo joslu, stiepto apakšējo joslu un spiestām spraišļiem;
3. Kombinēta vanšu kopne ar spiesto augšējo joslu, stiepto apakšējo joslu un spiestām spraišļiem. Izmantoti iepriekš saspriegtie elementi starp spraišļiem.

1.8. tabula

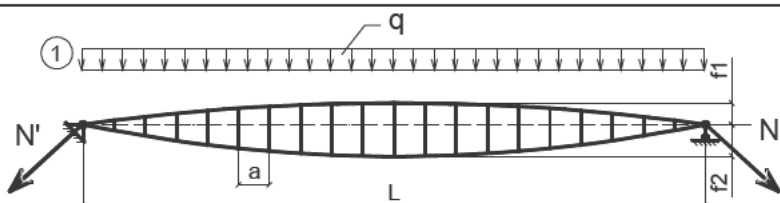
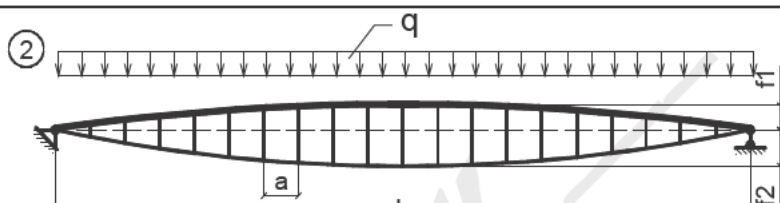
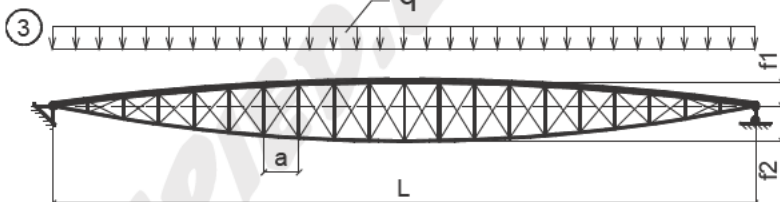
Elementu šķērsriezumu shēmas

Shēmas Nr.	Laidums [m]	Spraišļu solis [m]	Izliekumi [m]		Augšējās joslas šķērsriezums	Apakšējā joslas šķērsriezums	Spraišļu šķērsriezums	Iepriekš saspriegtie papildielementi
			Augšēja josla	Apakšējā josla				
1	60	3	2	3	 JK-PO 6x36 – 49.0 ГОСТ 7669	 JK-PO 6x36 – 18.0 GOST 7669		---
2					 Apaļa caurule 325x9 GOST 8732-78	 JK-PO 6x36 – 36.5 GOST 7669	 Apaļa caurule 133x5 GOST 8732-78	---
3					 Apaļa caurule 325x9 GOST 8732-78	 JK-PO 6x36 – 36.5 GOST 7669		 JK-O 6x7 GOST 3066

Iepriekšējā eksperimentā apakšējās joslas iepriekš sasprīegšanas vērtība visiem pētījumam shēmām ir vienāda. Pēc aprēķinu shēmu apstrādes iegūti sekojošie dati.

1.9. tabula

Aprēķinu shēmas un iegūti dati

Aprēķinu shēma	Dator-programma	P' Kg/m^2	$f(z)$ cm
	ANSYS 5.5	10.31	29.19
	LIRA		26.94
	LIRA	32.74	13.62
	LIRA	33.56	14.20

No materiāla patēriņa viedokļa vis ekonomiskais ir pirmais variants, kurām ir divas stieptas vanšu joslas. Tomēr šim variantam ir vis lielākie vertikālie pārvietojumi un ir vajadzīga atsaišu ierīkošana. Lielas deformācijas ierobežo jumta seguma izvēli (piemētam stikla izstrādājumu jumts).

Tā kā izmantota apakšējās joslas vienāda iepriekš sasprīeguma vērtība otrai un trešais shēmai ir lielāks augšējās joslas šķērsriezuma laukums, nekā var dabūt samazinot apakšējās joslas šķērsriezumu un iepriekš sasprīegums. Izsekojama sakarība starp augšējām un apakšējām joslām.

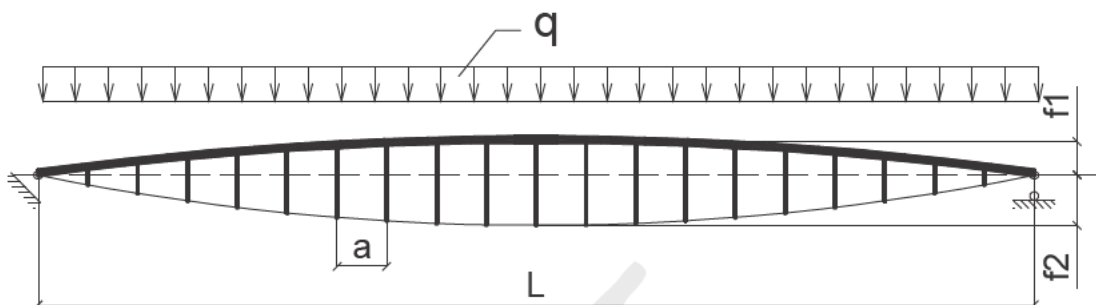
Otro un trešo variantu salīdzinot, var konstatēt, ka pēc materiāla patēriņa (par 2.5%) un pēc vertikāliem pārvietojumiem (par 4.26%) shēmas atšķiras otras shēmas labā. Par trešās shēmas trūkumu var nosaukt darbietilpību ierīkojot iepriekš sasprīegtus elementus starp spraišļiem.

Savam turpmākajam pētījumam izvēlos otro shēmu, kur augšējā spiesta josla un apakšējā stiepta josla.

1.3.2. Kombinētās vanšu kopnes aprēķini

Pētījuma shēma ir kombinēta vanšu kopne ar divām izliektām joslām, starp kurām ierīkoti spiesti elementi. Pētījumā augšējai spiestai joslai izvēlētie divi šķērsriezuma varianti: apaļa caurule un salikts dubult-T profils. Apakšējai joslai izvēlēta JIK-PO 6x36 tipa trosē. Spraišļiem izmantoti apaļas caurules šķērsriezumi.

Slodzes pieņemtas no 1.2.1 daļas.



1.8. att. Pētījuma shēma

1.10.tabula

Vadāmo faktoru līmeņi kombinētai vanšu kopnei.

Mainīgais faktors	Līmeņi	Līmeņa vērtība, m
Spiesta augšējā josla sākotnējā izliekums $f_1(m) - (X_1)$	Augšējs	3
	Nulles	2.5
	Apakšējais	2
Stiepta apakšējā josla sākotnējā izliekums $f_2(m) - (X_2)$	Augšējs	3
	Nulles	2.5
	Apakšējais	2
Spraišļu solis kopnē $a(m) - (X_3)$	Augšējs	6
	Nulles	4
	Apakšējais	2

Eksperiments veikts ar pieņemto augšējās joslas šķērsriezumu: apaļu cauruli un dubult – T, kas paņemti ar nelielu rezervi.

Iegūtās piepūles ar programmu "LIRA" eksperimentiem Nr. 1 – 27. Piepūļu aprēķina rezultāti kombinētai vanšu kopnei ar augšējās joslas apaļas caurules šķērsriezumu apkopoti 1.11. tabulā. Augšējās joslas saliktas dubult-T profila šķērsriezumam – 1.12 tabulā.

Piepūlu aprēķina rezultāti kombinētai vanšu kopnei ar augšējās jostas apaļas caurules šķērsriezumu

Ekspimenta Nr.	Augš. joslas izliekums (m)	Apakš. joslas izliekums (m)	Spraišu solis (m)	Ass spēks N_{max} (kN)	Iepriekš saspietums $N_{i,s}$ (kN)	Augš. joslas ass spēks N_1 (kN)	Apakš. joslas ass spēks N_2 (kN)	Augš. joslas lieces moments M_1 (kN·m)	Materiāla patēriņš P (kg/m ²)	Vertikālais pārvietojums (cm)
1	2	2	2	650.15	130.03	770.28	781.08	63.38	34.31	71.33
2	3	2	2	529.36	105.87	632.78	635.99	66.30	36.24	45.40
3	2	3	2	527.39	105.48	619.37	633.61	62.84	36.17	45.76
4	3	3	2	446.86	89.37	528.89	536.88	65.39	38.00	31.10
5	2	2	6	601.11	120.22	677.45	679.33	60.53	29.40	38.41
6	3	2	6	483.46	96.69	548.01	542.54	54.64	30.10	15.12
7	2	3	6	477.48	95.50	539.71	544.64	53.71	30.02	16.48
8	3	3	6	399.15	79.83	446.38	445.49	22.51	30.71	17.31
9	2	2.5	2	582.20	116.44	687.16	699.46	63.46	35.25	56.51
10	2.5	2	2	583.21	116.64	693.89	700.68	64.92	35.28	56.34
11	2.5	2.5	2	528.29	105.66	625.95	634.70	64.67	36.20	45.58
12	2.5	3	2	483.59	96.72	569.97	581.00	64.23	37.12	37.49
13	3	2.5	2	484.20	96.84	576.26	581.75	65.91	37.16	37.32
14	2	2	4	630.18	126.04	751.85	757.07	115.00	30.66	46.43
15	2	2.5	4	562.20	112.44	668.77	675.41	114.85	31.10	30.58
16	2	3	4	506.57	101.31	600.16	608.59	111.90	31.10	19.18
17	2.5	2	4	564.00	112.80	676.27	677.58	118.89	31.13	29.59
18	2.5	2.5	4	509.54	101.91	609.03	612.16	118.85	31.57	17.57
19	2.5	3	4	463.25	92.65	551.36	556.55	115.12	32.33	8.97
20	3	2	4	510.47	102.09	615.50	613.28	121.89	31.67	16.78
21	3	2.5	4	464.89	92.98	558.67	558.52	120.22	32.37	7.69
22	3	3	4	426.79	85.36	494.92	496.84	92.13	33.12	7.63
23	2	2.5	6	533.26	106.65	604.74	607.79	63.39	29.71	22.61
24	2.5	2	6	536.62	107.32	594.57	593.29	39.81	29.75	33.04
25	2.5	2.5	6	485.40	97.08	532.47	532.99	33.24	30.05	26.36
26	2.5	3	6	434.70	86.94	492.02	493.73	48.26	30.36	10.81
27	3	2.5	6	437.81	87.56	495.93	492.45	48.37	30.40	10.39

Piepūlu aprēķina rezultāti kombinētai vanšu kopnei ar augšējās joslas salikto dubult-T šķērsriezumu

Ekspimenta Nr.	Augš. joslas izliekums (m)	Apakš. joslas izliekums (m)	Spraišu solis (m)	Ass spēks N_{max} (kN)	Iepriekš saspietums $N_{i,s}$ (kN)	Augš. joslas ass spēks N_1 (kN)	Apakš. joslas ass spēks N_2 (kN)	Augš. joslas lieces moments M_1 (kN·m)	Materiāla patēriņš P (kg/m ²)	Vertikālais pārvietojums (cm)
1	2	2	2	684.30	136.86	811.53	822.10	133.91	54.05	74.61
2	3	2	2	562.32	112.46	672.92	675.58	99.67	56.06	48.01
3	2	3	2	560.22	112.04	658.29	673.06	89.46	55.91	48.41
4	3	3	2	476.13	95.23	564.02	572.04	63.13	57.90	32.98
5	2	2	6	550.88	110.18	669.93	670.27	145.42	49.14	75.77
6	3	2	6	433.38	86.68	543.46	542.55	128.45	49.91	68.90
7	2	3	6	427.64	85.53	538.89	539.81	142.86	49.76	76.28
8	3	3	6	350.29	70.06	451.22	451.68	151.06	50.52	82.26
9	2	2.5	2	616.10	123.22	727.70	740.18	108.40	54.98	59.52
10	2.5	2	2	617.26	123.45	735.15	741.57	107.96	55.05	59.34
11	2.5	2.5	2	561.25	112.25	665.55	674.29	89.10	55.97	48.19
12	2.5	3	2	514.62	102.92	606.97	618.28	74.65	56.89	39.75
13	3	2.5	2	515.57	103.11	614.16	619.42	74.33	56.98	39.53
14	2	2	4	634.88	126.98	712.31	717.70	127.84	50.40	65.74
15	2	2.5	4	565.74	113.15	672.25	679.68	90.05	50.84	44.21
16	2	3	4	508.87	101.77	602.10	611.36	71.78	50.84	34.63
17	2.5	2	4	567.60	113.52	680.27	681.91	87.96	50.9	43.31
18	2.5	2.5	4	512.21	102.44	611.84	615.38	68.77	51.34	33.04
19	2.5	3	4	463.67	92.73	551.51	557.06	56.47	52.1	26.70
20	3	2	4	512.64	102.53	618.19	615.89	67.28	51.42	32.47
21	3	2.5	4	465.36	93.07	559.32	559.11	54.09	52.19	25.49
22	3	3	4	425.63	85.13	509.38	511.37	44.99	52.93	25.49
23	2	2.5	6	482.68	96.54	598.18	598.56	139.23	49.45	73.48
24	2.5	2	6	485.66	97.13	600.11	599.97	132.85	49.52	70.27
25	2.5	2.5	6	435.51	87.10	542.27	542.58	128.18	49.82	68.23
26	2.5	3	6	385.18	77.04	491.09	491.90	145.37	50.13	78.48
27	3	2.5	6	387.95	77.59	493.51	493.25	137.27	50.22	74.29

1.3.3 Kombinētā vanšu kopnes racionālo izmēru noteikšana

1.13. tab.

Skaitliskā eksperimenta un plānojuma matricas rezultāti kombinētai vanšu kopnei ar augšējās jostas apaļas caurules šķērs griezumu.

Eksp. Nr.	X ₁ Augš. joslas izliekums (m)	X ₂ Apakš. joslas izliekums (m)	X ₃ Spraišu solis (m)	Y' Materiāla patēriņš (kg/m ²)	Y'' Vertikālais pārvietojums (cm)
1	2	2	2	34.31	71.33
2	3	2	2	36.24	45.40
3	2	3	2	36.17	45.76
4	3	3	2	38.00	31.10
5	2	2	6	29.40	38.41
6	3	2	6	30.10	15.12
7	2	3	6	30.02	16.48
8	3	3	6	30.71	17.31
9	2	2.5	2	35.25	56.51
10	2.5	2	2	35.28	56.34
11	2.5	2.5	2	36.20	45.58
12	2.5	3	2	37.12	37.49
13	3	2.5	2	37.16	37.32
14	2	2	4	30.66	46.43
15	2	2.5	4	31.10	30.58
16	2	3	4	31.10	19.18
17	2.5	2	4	31.13	29.59
18	2.5	2.5	4	31.57	17.57
19	2.5	3	4	32.33	8.97
20	3	2	4	31.67	16.78
21	3	2.5	4	32.37	7.69
22	3	3	4	33.12	7.63
23	2	2.5	6	29.71	22.61
24	2.5	2	6	29.75	33.04
25	2.5	2.5	6	30.05	26.36
26	2.5	3	6	30.36	10.81
27	3	2.5	6	30.40	10.39

Skaitliskā eksperimenta un plānojuma matricas rezultāti kombinētai vanšu kopnei ar dubult-T šķērs griezumu.

Eksp. Nr.	X ₁ Augš. joslas izliekums (m)	X ₂ Apakš. joslas izliekums (m)	X ₃ Spraišu solis (m)	Y' Materiāla patēriņš (kg/m ²)	Y'' Vertikālais pārvietojums (cm)
1	2	2	2	54.05	74.61
2	3	2	2	56.06	48.01
3	2	3	2	55.91	48.41
4	3	3	2	57.9	32.98
5	2	2	6	49.14	75.77
6	3	2	6	49.91	68.90
7	2	3	6	49.76	76.28
8	3	3	6	50.52	82.26
9	2	2.5	2	54.98	59.52
10	2.5	2	2	55.05	59.34
11	2.5	2.5	2	55.97	48.19
12	2.5	3	2	56.89	39.75
13	3	2.5	2	56.98	39.53
14	2	2	4	50.4	65.74
15	2	2.5	4	50.84	44.21
16	2	3	4	50.84	34.63
17	2.5	2	4	50.9	43.31
18	2.5	2.5	4	51.34	33.04
19	2.5	3	4	52.1	26.70
20	3	2	4	51.42	32.47
21	3	2.5	4	52.19	25.49
22	3	3	4	52.93	25.49
23	2	2.5	6	49.45	73.48
24	2.5	2	6	49.52	70.27
25	2.5	2.5	6	49.82	68.23
26	2.5	3	6	50.13	78.48
27	3	2.5	6	50.22	74.29

Optimālo atsevišķa vanšu un vanšu kopnes augšējas joslas sākuma izliekuma un spraišļu soļa variantu nosaka, veicot optimizāciju programmā "EdaOPT". Veikti aprēķini apaļa caurules šķērsriezuma augšējo joslu – 1.1, 1.2 un dubult-T šķērsriezuma augšējo joslu – 2.1, 2.2.

1.15. tab.

Matemātiska modeļa koeficienti

1.1		1.2		2.1		2.2	
b ₀	32.7838	b ₀	393.653	b ₀	52.7255	b ₀	510.403
b ₁	1.96722	b ₁	-75.5984	b ₁	1.78944	b ₁	-118.522
b ₂	1.96833	b ₂	-109.908	b ₂	1.87056	b ₂	-126.63
b ₃	-3.04431	b ₃	-42.9	b ₃	-3.01722	b ₃	-75.8496
b ₁₁	-0.128889	b ₁₁	1.006	b ₁₁	-0.08222	b ₁₁	9.49289
b ₁₂	0.463333	b ₁₂	17.833	b ₁₂	0.49	b ₁₂	14.4793
b ₁₃	-0.299167	b ₁₃	2.0925	b ₁₃	-0.308333	b ₁₃	5.16058
b ₂₂	-0.142222	b ₂₂	8.44333	b ₂₂	-0.128889	b ₂₂	10.3802
b ₂₃	-0.301667	b ₂₃	1.396	b ₂₃	-0.308333	b ₂₃	6.90608
b ₃₃	0.376528	b ₃₃	1.396	b ₃₃	0.377778	b ₃₃	6.46601

Kombinētas vanšu konstrukcijas maksimālā vertikāla pārvietojuma un materiāla patēriņa atkarība no kopnes joslu sākuma izliekuma un spraišļu soļa tika aproksimēta kā otrās pakāpes polinoms:

$$1.1. \quad Y' = 1.96722X_1 + 1.96833X_2 - 3.04431X_3 - 0.128889X_1^2 - 0.142222X_2^2 + 0.376528X_3^2 + 0.463333X_1X_2 - 0.299167X_1X_3 - 0.301667X_2X_3 + 32.7838$$

$$1.2. \quad Y'' = -75.5984X_1 - 109.908X_2 - 42.9X_3 + 1.006X_1^2 + 8.44333X_2^2 + 3.45175X_3^2 + 17.833X_1X_2 + 2.0925X_1X_3 + 1.39617X_2X_3 + 393.653$$

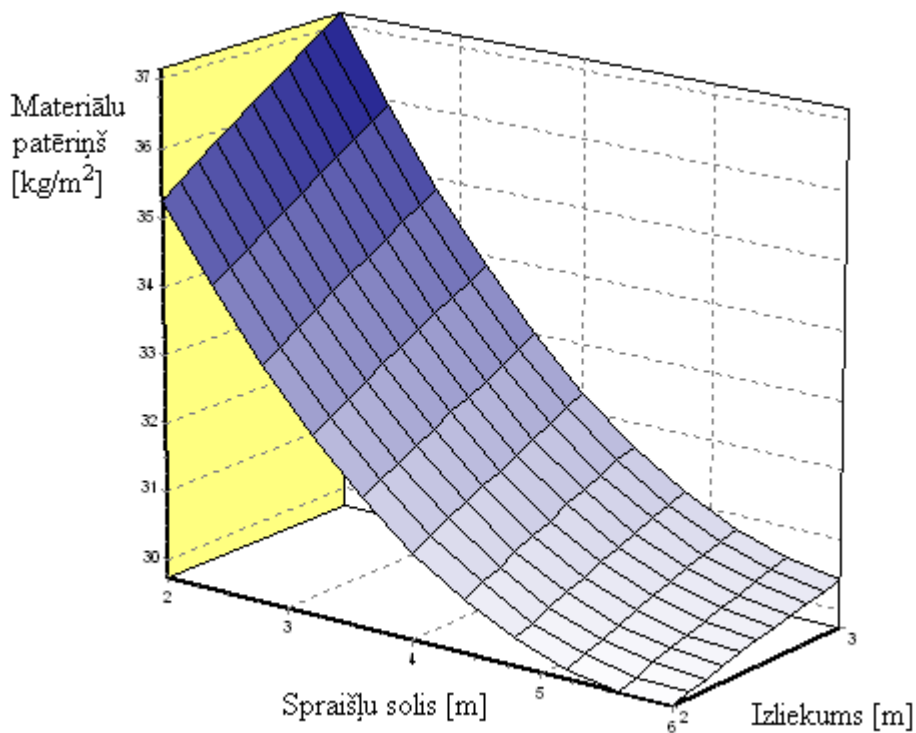
$$2.1 \quad Y' = 1.78944X_1 + 1.87056X_2 - 3.01722X_3 - 0.082222X_1^2 - 0.128889X_2^2 + 0.377778X_3^2 + 0.49X_1X_2 - 0.308333X_1X_3 - 0.308333X_2X_3 + 52.7255$$

$$2.2 \quad Y'' = -118.522X_1 - 126.63X_2 - 75.8496X_3 + 9.49289X_1^2 + 10.3802X_2^2 + 6.46601X_3^2 + 14.4793X_1X_2 + 5.16058X_1X_3 + 6.90608X_2X_3 + 510.403$$

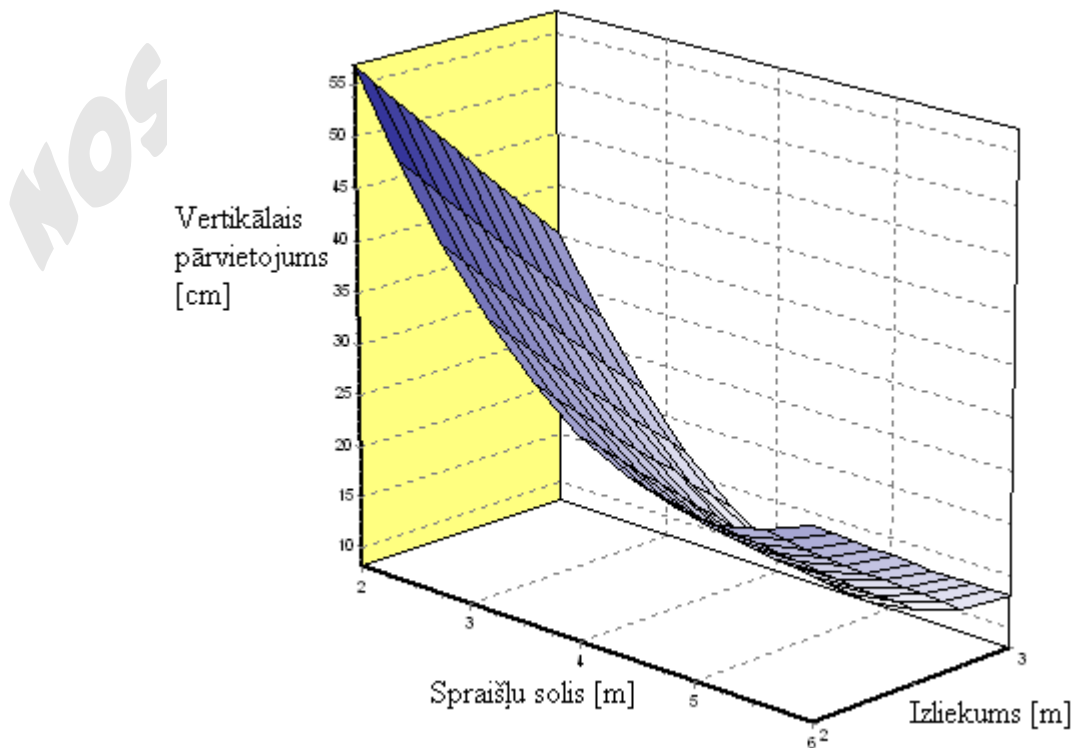
Atrisinot vienādojumu sistēmu ar trīs iegūtajiem polinomiem, tiek iegūtas optimālās X_1, X_2 , un X_3 vērtības gan no vertikāles pārvietojuma, gan no materiāla patēriņa diviem augšējās joslas šķērsriezuma tiem. Rezultāti apkopoti 3.9.tabulā.

NOSPIED.LV

1.9. att. ir attēlota kombinētas vanšu konstrukcijas ar *apaļa caurules* šķērsriezuma augšējo joslu, kur parādīts, kā mainās relatīvais materiālu patēriņš atkarībā no joslu sākuma izliekuma un atkarībā no spraišļu soļa. 1.10. att. ir. maksimālās vertikālās pārvietojuma atkarība no joslu sākuma izliekuma un no spraišļu soļa.

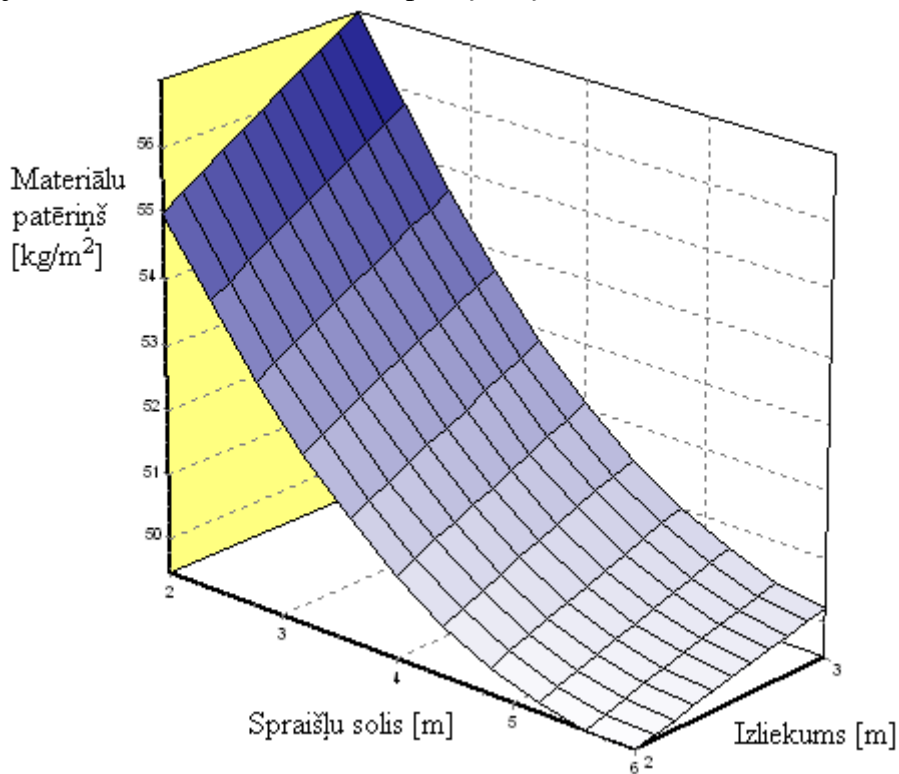


1.9. att. Materiāla patēriņa atkarība no joslu izliekuma un joslu soļa.

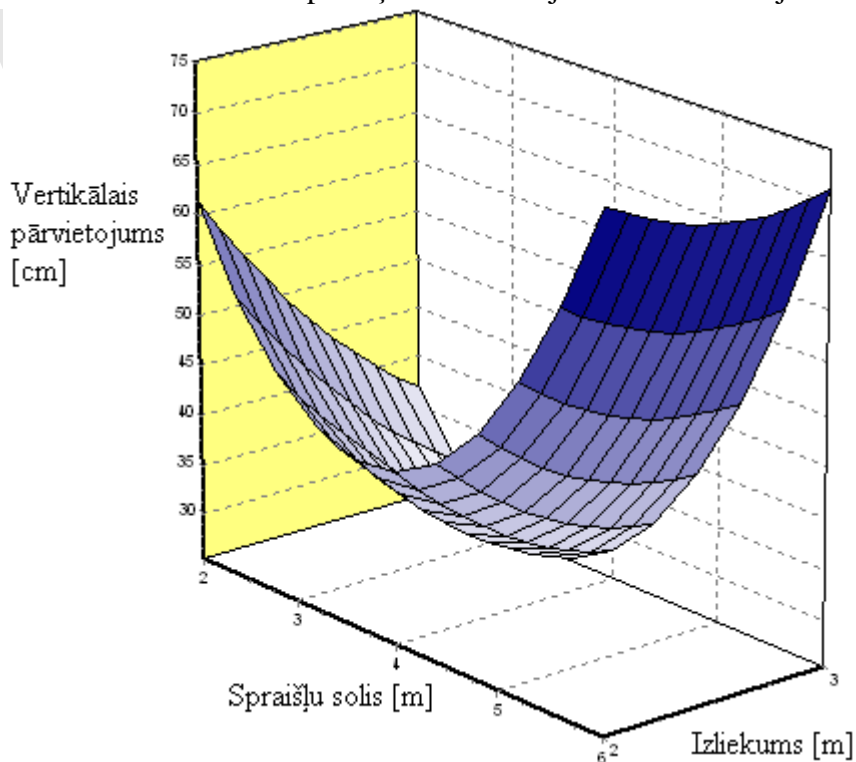


1.10. att. Maksimālā vertikālā pārvietojuma atkarība no joslu izliekuma un spraišļu soļa.

1.11. att. ir attēlota kombinētas vanšu konstrukcijas ar **dubult-T** šķērsriezuma augšējo joslu, kur parādīts, kā mainās relatīvais materiālu patēriņš atkarībā no joslu sākuma izliekuma un atkarībā no spraišļu soļa. 1.12. att. ir. maksimālās vertikālās pārvietojuma atkarība no joslu sākuma izliekuma un no spraišļu soļa.



1.11. att. Materiāla patēriņa atkarība no joslu izliekuma un joslu soļa



1.12.att. Maksimālā vertikālā pārvietojuma atkarība no joslu izliekuma un spraišļu soļa.

Kombinētas vanšu kopnes konstrukcijas optimālās vērtības.

Stāvoklis	Mainīgais faktors		Optimāla vērtība, augšējās joslas šķērsgriezumiem	
			Apaļa caurule	Dubult-T profils
No maksimālās vertikālas pārvietojuma viedokļa	Augšējās joslas sākotnējs izliekums $f_1(m)$	X1	2.58	3.28
	Apakšējās joslas sākotnējs izliekums $f_2(m)$	X2	3.39	2.79
	Spraišļu solis kopnē $a_1(m)$	X3	4.75	3.07
No materiāla patēriņa viedokļa	Augšējās joslas sākotnējs izliekums $f_1(m)$	X1	16.28	21.01
	Apakšējās joslas sākotnējs izliekums $f_2(m)$	X2	15.65	18.28
	Spraišļu solis kopnē $a_1(m)$	X3	16.78	12.04

Kā ir redzams no iegūtiem datiem – no maksimālās vertikālas pārvietojuma viedokļa ir skaidri rezultāti, kuri liecina par veiksmīgu eksperimentu. Eksperimentā, kur salīdzināts materiāla patēriņš no joslu izliekumiem un spraišļu soļa, iegūtie dati nav pieļaujamās robežās. Atkarības redzamas 1.9. un 1.11. attēlos. Grafikos ir redzamas skaidras sakarības: palielinot izliekumus un samazinot spraišļu soli – palielinās pašsvars. Līdz ar to ekstrēmumu noteikšana ir apgrūtināta.

No iegūtajiem datiem (optimālais joslu izliekums un optimālais spraišļu soli) ir aprēķināts optimālais vertikālais pārvietojums, kurš būs $f^1 = 7.95$ (cm) apaļas caurules šķērsgriezumam un $f^2 = 22.99$ (cm) – dubult-T šķērsgriezumam. Materiāla patēriņš ir mazāks konstrukcijai ar mazākiem izliekumiem un lielāku soli, kas atbilst shēmai ar 2(m) izliekumiem un 6(m) spraišļu soli. $29.40(kg/m^2)$ - apaļas caurules šķērsgriezumam, $49.14(kg/m^2)$ dubult-T šķērsgriezumam.

Līdz ar to pieņemu turpmākajam eksperimentam ar iepriekš spriegumu – konstruktīvo shēmu ar izliekumiem 2.5(m), spraišļu soli – 4(m). Konstrukcijai pieņemti tādi paši šķērsgriezuma tipi (apaļa caurule, dubult-T).

1.3.4 Deformāciju samazināšana ar apakšējās joslas iepriekš sasprieguma palielināšanu.

1.3.3. nodaļā noteikta optimālāka shēma ar racionāliem joslu izliekumiem un spraišļu soli. Kā ir zināms no literatūras avotiem [3] vertikālo pārvietojumu var samazināt ar apakšējās joslas iepriekš saspriegumu. Veikts eksperiments, kurā apakšējās joslas iepriekš saspriegums ir 10...60% no maksimālas stiepes spēka. Noteiktas vertikāla pārvietojuma un materiāla patēriņa atkarība no apakšējās joslas iepriekš sasprieguma vērtībām. Veikti pārbaudījumi divām augšējās joslas šķērsgrīzumiem. Dati apkopoti 1.17. un 1.18.tabulās.

1.17. tabula

Iepriekš sasprieguma palielināšanas eksperimenta dati kombinētai vanšu kopnei ar apaļas caurules šķērsgrīzuma augšējo joslu

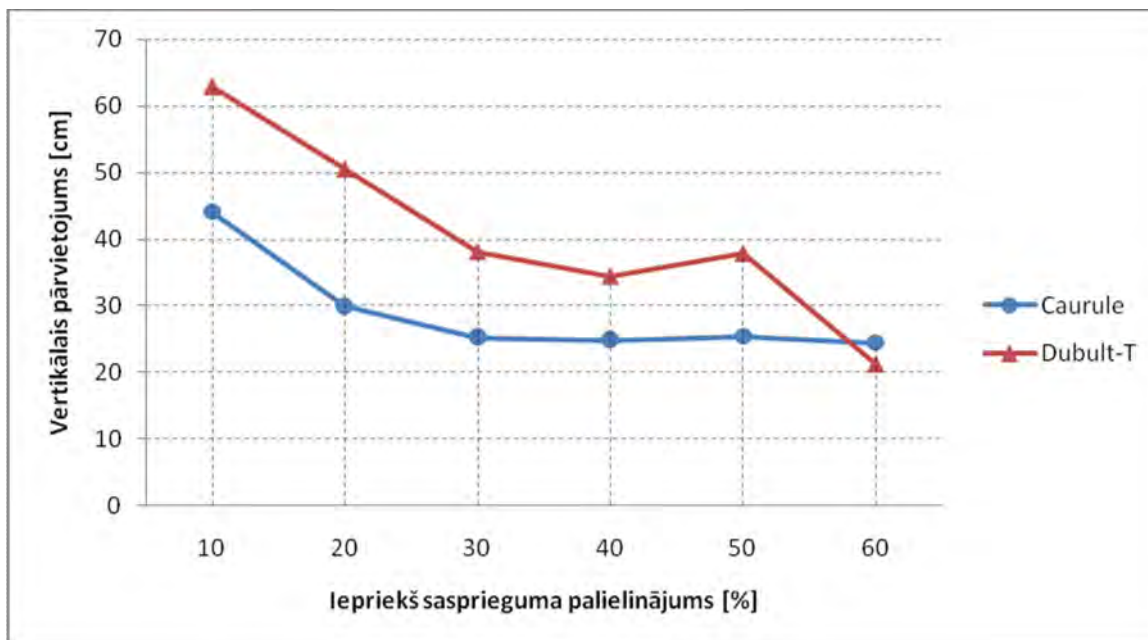
Ekspierimenta Nr.	Iepriekš sasprieguma palielināšana par [%]	Augšējās joslas izliekums [m]	Apakšējās joslas izliekums [m]	Spraišļu solis [m]	Maks. piepūles $N_I(kN)$	Maks. piepūles $M_I(kN\cdot m)$	Maks. piepūles $N_I(kN)$	Vertikālas pārvietojumu vērtības [cm]	Materiāla patēriņa vērtības [kg/m^2]
1	10	2.5	2.5	4	547.85	44.04	551.58	44.04	30.68
2	20				594.98	107.41	598.91	29.63	30.94
3	30				609.11	125.95	613.12	25.32	31.19
4	40				610.41	127.66	614.44	24.93	31.57
5	50				609.01	125.77	613.03	25.37	31.57
6	60				611.97	129.70	616.02	24.46	32.11

1.18. tabula

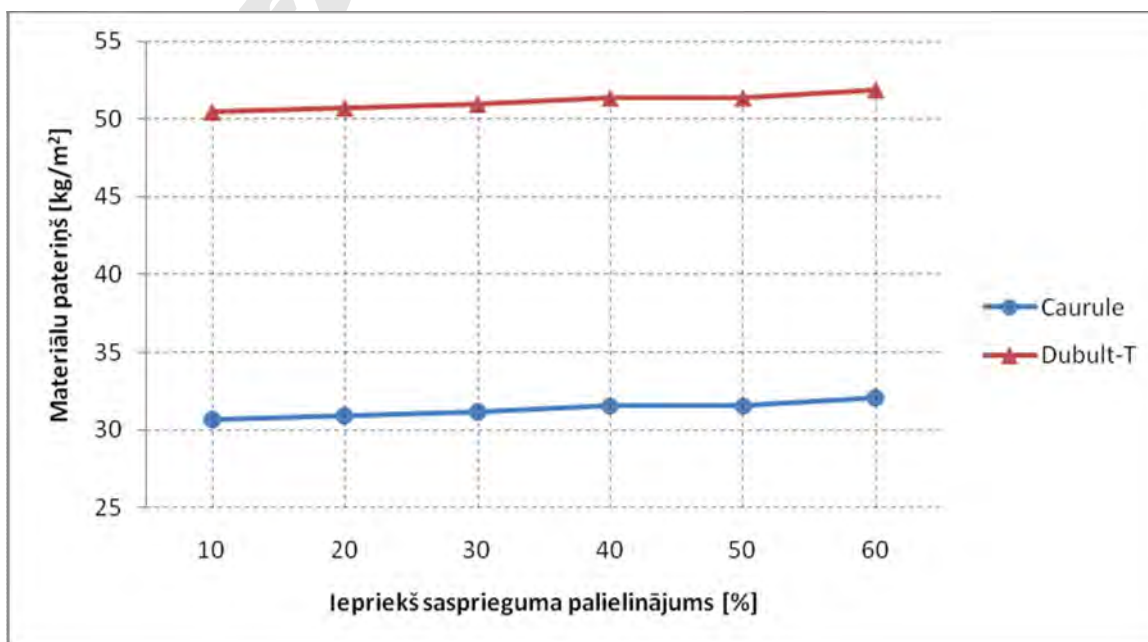
Iepriekš sasprieguma palielināšanas eksperimenta dati kombinētai vanšu kopnei ar dubult-T šķērsgrīzuma augšējo joslu

Ekspierimenta Nr.	Iepriekš sasprieguma palielināšana par [%]	Augšējās joslas izliekums [m]	Apakšējās joslas izliekums [m]	Spraišļu solis [m]	Maks. piepūles $N_I(kN)$	Maks. piepūles $M_I(kN\cdot m)$	Maks. piepūles $N_I(kN)$	Vertikālas pārvietojumu vērtības [cm]	Materiāla patēriņa vērtības [kg/m^2]
1	10	2.5	2.5	4	551.68	121.61	555.41	62.91	50.45
2	20				598.83	101.83	603.59	50.57	50.71
3	30				645.94	103.26	651.75	38.17	50.96
4	40				659.85	121.58	665.98	34.51	51.34
5	50				646.94	104.56	652.79	37.93	51.34
6	60				709.78	187.13	717.03	21.32	51.88

1.13. attēlā redzamas divu šķērsriezuma tipu vertikāla pārvietojuma atkarība no iepriekš sasprieguma palielināšanas. 1.14. attēlā - divu šķērsriezuma tipu materiāla patēriņa atkarība no iepriekš sasprieguma palielināšanas.



1.13.att. Vertikāla pārvietojuma atkarība no iepriekš sasprieguma palielināšanas



1.14.att. Materiāla patēriņa atkarība no iepriekš sasprieguma palielināšanas

1.4. REZULTĀTU ANALĪZE

Kombinētas vanšu pārseguma racionālas formas izpētei veikti daudzi aprēķini. Maģistra darbu var sadalīt uz trim daļām: *iepriekš eksperiments, galvenais eksperiments un papildu eksperiments*. Rezultātus analizēsim tādā pašā secībā.

Iepriekš eksperimentā, balstoties uz literatūras avotiem, izvēlētas trīs konstrukciju veidi. Izvēlētam konstrukcijām veikti pārbaudījumi ar datorprogrammu „ANSYS_5.5” un „LIRA”. Iegūti dati, kas liecina par minimālo atšķirību starp programmu datiem (7,7%). Tālākiem eksperimentiem izmantota datorprogramma „LIRA” tā kā ļauj optimizēt projektēšanu, samazinot pētījuma laiku. Iepriekšējā eksperimentā noteikta galvenā eksperimenta shēma.

Galvenā eksperimentam izvēlēta pārseguma konstrukcija ar spiestu stingo augšējo joslu un stieptu lokano apakšējo joslu. Rezultātus var apskatīt 1.9. tabulā. Šīm pārseguma konstrukcijas veidam, salīdzinājumā ar citiem pētāmiem konstrukciju veidiem ir minimālākās vertikāla pārvietošana vērtības un vidējas materiāla patēriņa vērtības. Pārsegumam ar divām lokanām joslām, salīdzinājumā ar izvēlēto, par 68.51% ir mazāks materiāla patēriņš un par 97.80% lielāks vertikālais pārvietojums. Pārsegumam ar iepriekš saspriegtiem papildelementiem materiāla patēriņš ir par 2.51% lielāks, kā arī par 4.25% lielāks vertikālais pārvietojums.

Galvenais eksperiments veikts kombinētai vanšu konstrukcijai, izvēlētai iepriekš pārbaudījumā. Noteikti vadāmie faktori un faktoru līmeņi (augšējās joslas izliekums 2...3(m), apakšējās joslas izliekums 2...3(m), spraišļu solis 2...6(m)). Veikti 27 pētījumi datorprogrammā „LIRA” ar faktoru variāciju. Aprēķini veikti diviem augšējās joslas šķērsriezuma tipiem – apaļai caurulei un dubult-T profilam. Iegūti dati apkopoti 1.11. un 1.12. tabulās. Tālākā optimizācijas eksperimenta veikšanai noteikti regresijas vienādojuma koeficienti, kuru izskaitļošanai izmantota datorprogramma „EdaOpt”. Būvkonstrukciju optimizācijas gala mērķis bija atrast to raksturojumu, kas ļauj sasniegt vislabākos rādītājus. Šo raksturojumu atrašana ir saistīta ar regresijas vienādojuma ekstrēmuma noteikšanu.

Atrasti racionālie ģeometriskie raksturojumi. Apaļas caurules spiestas joslas šķērsriezumam: augšējās joslas sākuma izliekums – $f_1=2.58(m)$, apakšējās joslas sākuma izliekums – $f_2=3.39(m)$, spraišļu solis $a=4.75(m)$. Dubult-T spiestas joslas šķērsriezumam: augšējās joslas sākuma izliekums – $f_1=3.28(m)$, apakšējās joslas sākuma izliekums – $f_2=2.79(m)$, spraišļu solis $a=3.07(m)$.

No iegūtajiem datiem (optimālais joslu izliekums un optimālais spraišļu solis) ir aprēķināts optimālais vertikālais pārvietojums, kurš būs $f^l = 7.95$ (cm) apaļas caurules

šķērsgriezumam un $f^2 = 22.99$ (cm) – dubult-T šķērsgriezumam. Dubult-T šķērsgriezumam ir par 289.18% lielāks vertikālais pārvietojums, nekā apaļas caurules šķērsgriezums.

Materiāla patēriņš ir mazāks konstrukcijai ar mazākiem izliekumiem un lielāku soli, kas atbilst shēmai ar 2(m) izliekumiem un 6(m) spraišļu soli. $29.40(\text{kg}/\text{m}^2)$ - apaļas caurules šķērsgriezumam, $49.14(\text{kg}/\text{m}^2)$ dubult-T šķērsgriezumam. Atšķirība – 67.14%.

Papilda eksperiments veidots konstrukcijai ar tādiem pašiem šķērsgriezuma tipiem (apaļa caurule, dubult-T profils). Veikts eksperiments, kurā apakšējās joslas iepriekš saspriegums ir 10...60% no maksimālas stiepes spēka apakšējā joslā. Noteiktas vertikāla pārvietojuma un materiāla patēriņa atkarība no apakšējās joslas iepriekš sasprieguma vērtībām. Dati apkopoti 1.17. un 1.18.tabulās un sakarības iedoti 1.13. un 1.14. attēlos.

Veidotas vertikāla pārvietojuma atkarības no iepriekš sasprieguma palielināšanas divām šķērsgriezuma veidiem. Iegūtas līknes var uzskatīt par kvadrātviensējuma grafikiem. Par racionālo iepriekš sasprieguma vērtību var uzskatīt - 30% no maksimāla sprieguma joslā (sk.1.13. attēlu). Dubult-T šķērsgriezuma profilam ir par 50.08% lielāks vertikālais pārvietojums, nekā apaļas caurules šķērsgriezumam.

Materiāla patēriņa atkarību var nosaukt par lineāru atkarību. Kombinētām vanšu pārsegumam ar dubult-T profila augšējās joslas šķērsgriezumu ir par 65.68% lielāks materiāla patēriņš nekā apaļai caurulei (sk.1.14. attēlu).

1.5. SECINĀJUMI

Maģistra darbā noteikta no materiāla patēriņa un maksimāla vertikāla pārvietojuma viedokļa racionāla kombinēta vanšu pārseguma forma. Apskatītas un pārbaudītas deformācijas samazināšanas iespējas.

Veicot aprēķinus saskaņā ar šādu konstrukciju projektēšanas principiem, iegūti sekojošie rezultāti:

- Noteikts materiāla patēriņš un maksimālais vertikālais pārvietojums kombinētam vanšu kopnēm: divu lokanu joslu ar atsaitēm, stingo augšējo joslu un lokano apakšēju, stingo augšējo joslu un lokano apakšēju ar iepriekš saspriegtiem papildelementiem. Materiāla patēriņš un maksimālais vertikālais pārvietojums $10.31(\text{kg}/\text{m}^2)$ un $29.19(\text{cm})$, $32.74(\text{kg}/\text{m}^2)$ un $13.62(\text{cm})$, $33.56(\text{kg}/\text{m}^2)$ un $14.20(\text{cm})$, atbilstoši. Izvēlēta konstrukcija ar spiestu stingu augšējo joslu un stieptu lokanu apakšējo joslu.
- Noteikta sakarība starp kombinēta vanšu pārseguma maksimāliem vertikāliem pārvietojumiem un ģeometriskiem raksturlielumiem. Atrasti racionālie ģeometriskie raksturojumi: apaļas caurules spiestas joslas šķērsgriezumam: augšējās joslas sākuma izliekums $2.58(\text{m})$, apakšējās joslas sākuma izliekums - $3.39(\text{m})$, spraišļu solis - $4.75(\text{m})$. Dubult-T spiestas joslas šķērsgriezumam: augšējās joslas sākuma izliekums - $f_1=3.28(\text{m})$, apakšējās joslas sākuma izliekums - $2.79(\text{m})$, spraišļu solis - $3.07(\text{m})$.
- Noteikta sakarība starp kombinēta vanšu pārseguma relatīvo materiāla patēriņu un ģeometriskiem raksturlielumiem. Par racionāliem ģeometriskiem raksturojumiem abiem augšējās joslas šķērsgriezuma tipiem (dubult-T un apaļai caurule) var uzskatīt augšējās un apakšējās joslas sākuma izliekumu $2.50(\text{m})$ un spraišļu soli $4.00(\text{m})$.
- Noteikti kombinētam vanšu pārsegumam racionālie no materiāla patēriņa un maksimāla vertikāla pārvietojuma viedokļa augšējo un apakšējo joslu izliekumi - $2.50(\text{m})$, spraišļu solis - $4.00(\text{m})$.
- Par racionālo iepriekš sasprieguma vērtību no vertikāla pārvietojuma un materiāla patēriņa var uzskatīt - 30% no maksimālas sprieguma vērtības joslā. Dubult-T šķērsgriezuma profilam ir par 50.08% lielāks vertikālais pārvietojums, nekā apaļas caurules šķērsgriezumam.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Трущев А.Г. "Пространственные металлические конструкции" Москва,Стройиздат, 1983. - 427.1pp.
2. Ермолов В.В. "Инженерные конструкции", Москва, "Высшая школа", 1991. - 193.1pp.
3. Михайлов В.В. "Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции", Москва, "АСВ", 2002. -255.1pp.
4. D. Serdjuks. Metodiskie norādījumi praktiskiem darbiem mācību priekšmetā „Konstrukciju optimizācija”. Rīga 2004. RTU. - 27.lpp.
5. Ф. Отто, К. Шлейер "Тентовые и вантовые строительные конструкции", Москва, Стройиздат, 1970.-237.1pp.
6. А. И. Урбах "Крытые рынки", Москва, 1963. - 212.1pp.
7. И. Р. Федосеева, А. Г. Токмаджян, И. П. Васильева "Торговые центры", Москва,Стройиздат, 1988. - 185.1pp.
8. А. А. Спиридонов "Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов", Москва, "Машиностроение", 1981. - 84.1pp.
9. Я. А. Брауне "Обработка результатов и планирование эксперимента", Рига, 1989. - 65.1pp.
10. Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю.В. Грановский "Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий", Москва, 1976. - 104.1pp.
11. А. Б. Гольшев "Проектирование железобетонных конструкций", Киев, Будивельник, 1985. - 495.1pp.
12. Е. Е. Линович "Расчет и конструирование частей гражданских зданий", Киев, Гос.издание, 1955. - 411.1pp.
13. Е.И. Беленя "Металлические конструкции, Спецкурс", Москва, 1982. - 463.1pp.
14. СНИП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".- 34.1pp.
15. СНИП 11-23-81* "Стальные конструкции". -57.1pp.
16. LBN 002-01 "Ēku norobežojoso konstrukciju siltumtehnika". -25.1pp.
17. LBN 003-01 "Būvklimatologija". Latvijas Vestnesis. - 2001 .-Nr. 123.-18.lpp.
18. LBN 203-97 "Betona un dzelzsbetona konstrukciju projektēšanas normas". - 47.1pp.
19. LBN 207-01 "Ģeotehnika. Būvju pamati un pamatnes". Latvijas Vēstnesis. - 2001. 26.1pp.
20. LBN 208-00 "Publiskas ēkas un būves". - 24.1pp.