

HIERARCHIC CABLE STRUCTURES HIERARHISKIE VANŠU PĀRSEGUMI

L.Pakrastiņš, K.Rocēns

Atslēgas vārdi: Vanšu pārsegumi, veidošanas pamatprincipi, piepūles, pārvietojumi.

1. Ievads

Lielu laidumu pārsegšanai (vairāk par 36 m) ne vienmēr lietderīgi izmantot konstrukcijas, kuras strādā uz spiedi un lieci. Izmantojot čaulas, velves un kupolus palielinās pārseguma apjoms, un ir grūti nodrošināt vispārējo konstrukciju noturību, kas rada neracionālu materiāla izmantošanu. Viens no šīs problēmas risināšanas visracionālākiem veidiem, no materiāla patēriņa viedokļa, ir vanšu konstrukcijas pielietošana. Vanšu konstrukciju elementu šķērsriezuma visos punktos darbojas stiepes spriegumi, un tas nodrošina vanšu materiāla stiprības pilnvērtīgu izmantošanu, uzņemot slodžu izraisītās piepūles. Jāņem vērā tas, ka šīs konstrukcijas ļauj izmantot arī jaunās paaudzes materiālus ar palielinātu stiprību. Šo piepūļu lielums ir atkarīgs ne tikai no slodzes, bet arī no vanšu sākotnējās izlieces. Pieaugot izliecei, samazinās piepūles, bet pieaug vanšu garums. Racionālai izliecei raksturīgs minimāls materiāla patēriņš paredzēto slodžu uzņemšanai [1, 2].

Vieni no perspektīvākiem vanšu konstrukciju veidiem ir Negatīvā Gausa liekuma sedlveida pārsegumi. Vanšu pārsegumus veido no krusteniski novietotām (ortogonāli krustojošām) nesošām (ieliektām) un stabilizējošām (izliektām, savelkošām) vantīm (vai vanšu saspriegta tīkla). Pārseguma virsmai ir hiperboliskā paraboloida sedlveida forma. Pēc stabilizējošo vanšu saspriegšanas (uzstiepšanas) izveidojas stingra nesoša pārseguma konstrukcija. Tās forma un iepriekšējais saspriegums ļauj uzņemt dažāda virziena slodzes, kā arī veidot vieglas, krusteniskās vantīs daļēji iekārtas norobežojošas pārseguma kompozīt konstrukcijas [3, 4].

Ārējās slodzes ietekmē pārsegums ieliecas, pieaug piepūles nesošajās vantīs un vanšu garumi palielinās, bet uzstiepums stabilizējošās vantīs samazinās. Jānodrošina, lai pie neizdevīgākās slodžu kombinācijas, spriegumi stabilizējošās vantīs nesamazinātos līdz nullei, jo tad pārsegums zaudē stingumu.

2. Sedlveida vanšu konstrukciju raksturojums

Sedlveida vanšu konstrukciju galvenās priekšrocības ir:

- Mazs konstrukciju svars
- Augststiprības materiālu pielietojuma efektivitāte vanšu trošu izgatavošanai
- Montāžas priekšrocības
- Celtniecības termiņu samazināšana
- Transportēšanas priekšrocības (ruļļos)
- Laba seismiskā izturība
- Lētākas uguns aizsardzības metodes ar uzputojošiem polimēriem

- Jaunas arhitektoniskās izteiksmības iespējas.

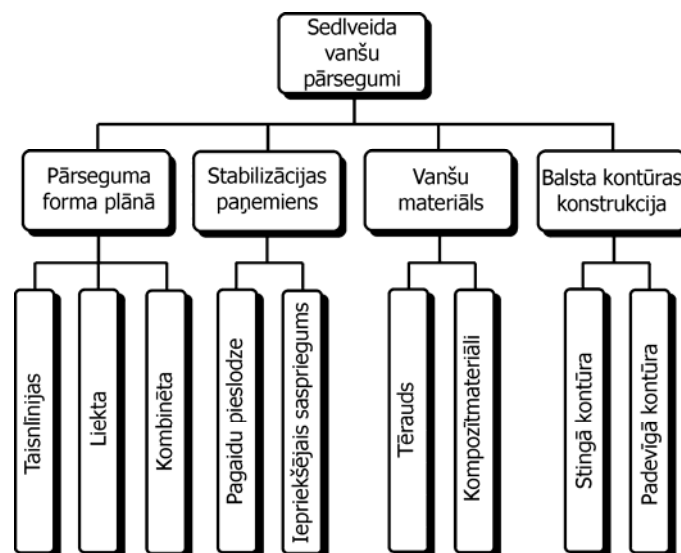
Sedlveida vanšu konstrukciju galvenie trūkumi ir:

- Palielināta deformējamība
- Atsevišķos gadījumos relatīvi slikta pretkorozijas izturība
- Balstu konstrukciju nepieciešamība, balstbīdes uztveršanai

Atkarībā no konstruktīvajām īpatnībām, sedlveida vanšu pārsegumus ir iespējams grupēt:

- Formas plānā (konstruktīvās formas);
- Konstrukciju formas stabilizācijas principa (pārseguma stabilizācijas paņēmiena);
- Vanšu materiāla veida;
- Balsta kontūras veida (konstrukcijas).

Detalizētu šo pārsegumu iedalījumu skat. 1. attēlā.



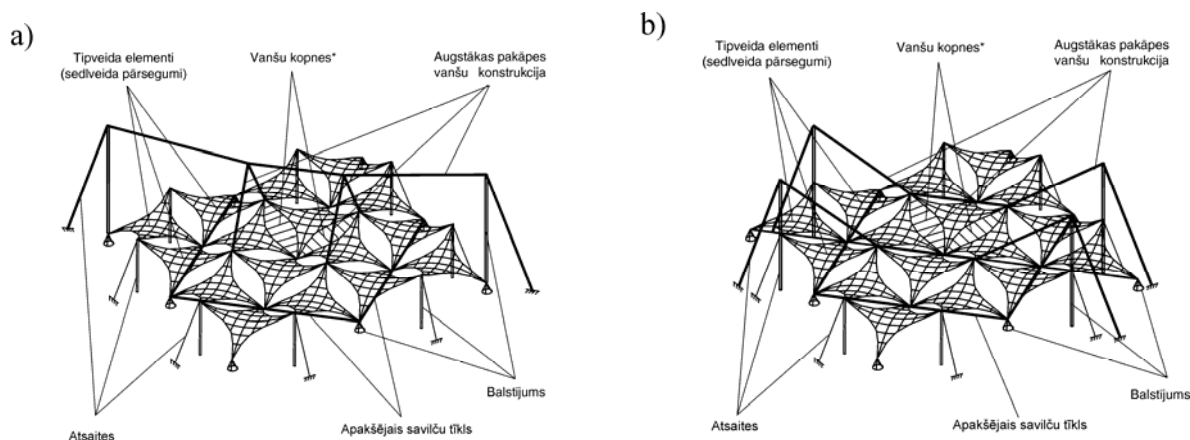
1.att. Sedlveida vanšu pārsegumu iedalījums.

3. Hierarhisko vanšu konstrukciju veidošanas pamatprincipi

No materiāla patēriņa viedokļa (lielas stiprības materiāla nestspējas pilnvērtīgās izmantošanas) racionālākie ir vanšu pārsegumi ar lokanu (padevīgu) atbalsta kontūru (vanšu kopnēm). Iepriekšējos darbos [1, 2] noteikti racionālie ģeometriskie raksturlielumi sedlveida vanšu pārsegumiem ar padevīgo (lokano) atbalsta kontūru un izmēriem plānā no 10 - 50 m. No funkcionālā viedokļa pie lielākiem laidumiem attiecība starp pārsegto tilpumu un laukumu bieži ir nepieņemama.

Izmantojot sedlveida pārsegumus ar lokano atbalsta kontūru par tipveida elementiem lielu laukumu pārsegšanai un iekarot to stūrus augstākas pakāpes paralēlu vienvirziena vanšu konstrukcijā, iegūst hierarhisku (savstarpēji pakārtotu) vanšu pārsegumu (vienkāršotus variantus

skat. 2.att.), kura laidums var pārsniegt pat 0,5 kilometrus. Šīm konstrukcijām piemīt visas priekšrocības, kas ir atsevišķam sedlveida vanšu elementam, bet ar labāku attiecību starp pārsegto tilpumu un laukumu.

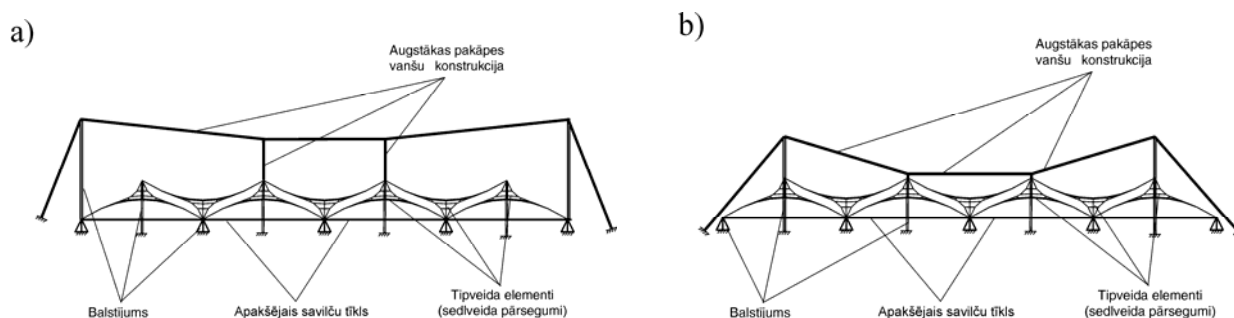


2.att. Hierarhiska vanšu pārseguma vienkāršoti varianti

a) - ar slīpiem piekariem, b) - ar vertikāliem piekariem. *Vanšu kopnes visiem tipveida elementiem un savilces starp tipveida elementu zemākiem stūriem nosacīti nav parādītas

2.attēlā redzami vienkāršoti hierarhiska vanšu pārseguma varianti ar slīpiem un vertikāliem piekariem, kura izmēri plānā ir 80x80m. Katra tipveida elementa izmērs ir 20x20m. Pārseguma laiduma vidū, katra tipveida elementa divi augšējie stūri ir piestiprināti augstākas pakāpes vanšu konstrukcijai, bet divi apakšējie pie apakšējā savilču tīkla. Malējo elementu stūri tiek balstīti, tāpat kā atsevišķam sedlveida pārsegumam, uz balstiem vai kolonnām.

Saskaņā ar iepriekšējiem pētījumiem [5], lai samazinātu konstrukcijas vertikālos pārvietojumus starp tipveida elementiem, izmanto vanšu kopnes. Jāatzīmē, ka 2.att. labākai shēmas interpretācijai vanšu kopnes pie visiem tipveida elementiem nosacīti nav parādītas. Šīs 80x80m lielās struktūras var kombinēt kopā, lai veidotu lielākas pārsegtās platības. 3.att. redzami šīs konstrukcijas diagonālie griezumumi.



3.att. Diagonālie griezumumi.

a) - ar slīpiem piekariem, b) - ar vertikāliem piekariem

4. Hierarhisko vanšu konstrukciju aprēķina metodika

Vanšu konstrukcijām raksturīga ģeometriskā nelinearitāte - slogojuma laikā mainās konstrukcijas ģeometrija un ir lieli mezglu pārvietojumi pie relatīvi mazām elementu deformācijām. Šādu nelineāru uzdevumu risināšanai izmanto galīgo elementu metodes (GEM) programmas paketes, kuras realizē Ņūtona-Rapsona iterācijas metodi un nodrošina lineārizētās vienādojumu sistēmas risinājumu katram solim, mezglu slodžu vektora tekošam pieaugumam, kas definēts konkrētām slogojumam. Soļu skaitu un lielumu var definēt automātiski ar lineāra meklējuma paņēmieni vai atbilstoši lietotāja vajadzībām.

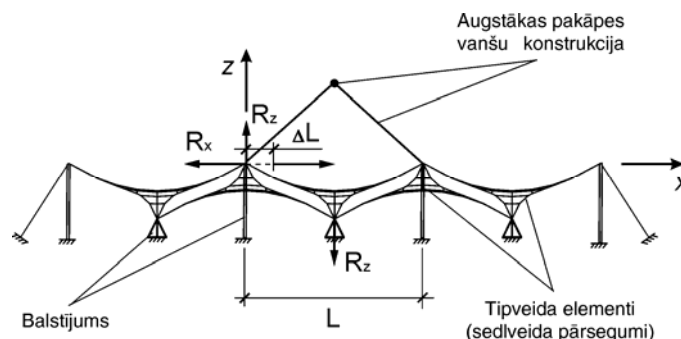
Aprēķiniem izmanto universālo telpiska stieņa galīgo elementu, kuram katrā mezglā ir trīs brīvības pakāpes ar īpašo bilineāro stinguma matricu, kura nosaka, ka elements strādā tikai uz stiepi.

Minētā soļu iterācijas metode ir realizēta pasaulē plaši izplatītās GEM paketēs ABAQUS, ANSYS, EMRC NISA, kā arī mazāk pazīstamās SCAD Structure un LIRA. Pēdējās paketēs ir papildus iespēja kombinēt lineārus un nelineārus elementus, kas dod iespēju izveidot vanšu konstrukciju aprēķina modeļus, kas pilnīgāk ievērtē reālo konstrukciju darbību.

Lai samazinātu kopējo aprēķina apjomu un komplicētību, kā arī izvairīties no uzdevuma koverģences problēmām, izmanto tā saucamo apakšmodeļu (apakšreģionu) (substructure or subregion) metodi, kura konstrukciju sadala līmeņos, un kā pirmo etapu aprēķina pārvietojumus un piepūles vienam tipveida elementam - sedlveida pārsegumam ar lokano atbalsta kontūru, iegūstot informāciju (robežnosacījumus) visas konstrukcijas aprēķinam nākamajā etapā.

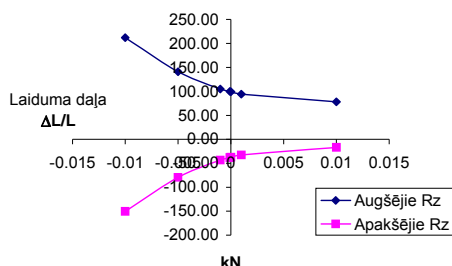
5. Skaitliskie piemēri

Aprēķins (skat. 4.att.) veikts, lai labāk izprastu konstrukcijas darbību un atrastu sedlveida elementu augšējo galu, kuri piekārti pie augstākas pakāpes vanšu konstrukcijas, un kā šie pārvietojumi ietekmē atsevišķa elementa reakcijas spēkus, pie Latvijas sniega slodzes vērtībām. Diagrammās var redzēt (skat. 5.att) kā izmainās vertikālie (a) diagrammā) un horizontālie (b) diagrammā) reakcijas spēki, atkarībā no sedlveida elementu augšējo piekārtu galu pārvietojumiem vienam tipveida elementam ar izmēru plānā 20x20m. Šādus pārvietojumus var izraisīt, piemēram vēja slodze.

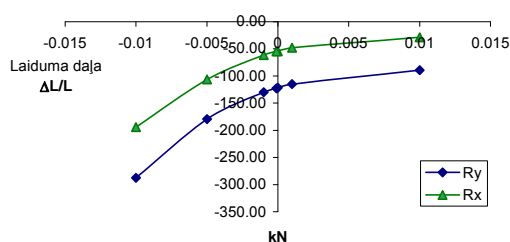


4.att. Slogojuma shēma

a) Vertikālie reakcijas spēki

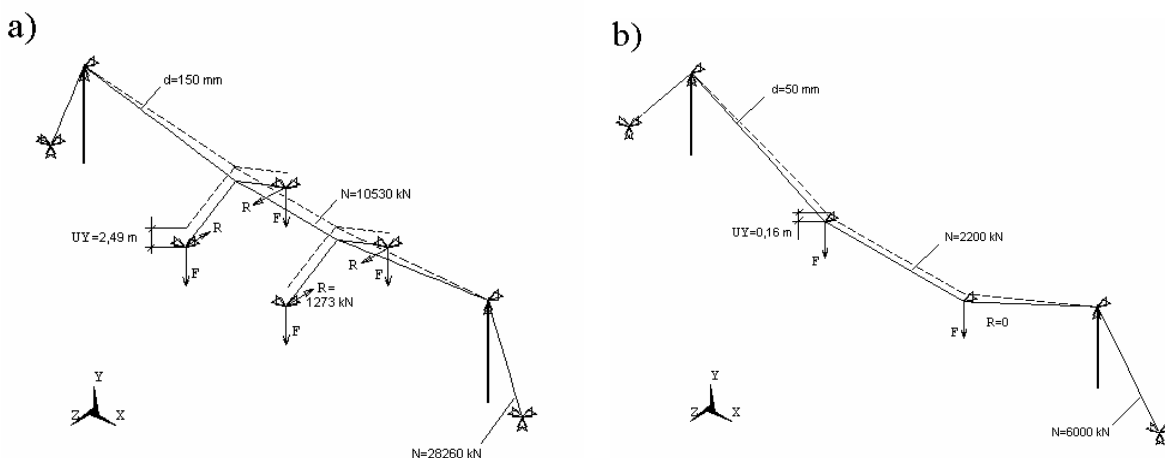


b) Horizontālie reakcijas spēki



5.att. Reakcijas spēku atkarībās

Nākamajā 6. attēlā parādītas augstākās pakāpes vanšu konstrukcijas aprēķina rezultāti. No šī aprēķina var iegūt balstu sākotnējos vertikālos pārvietojumus (pacēlumus), kuri noteikti pie 2-ās pakāpes iterācijas aprēķina. Šādus pacēlumus var ievērot konstrukcijas montāžas laikā, lai pie pilnas slodzes samazinātu visas konstrukcijas deformācijas.



6.att. Augstākās pakāpes vanšu konstrukcijas galveno aprēķina rezultātu shematiskais atspoguļojums.

a) - ar slīpiem piekariem, b) - ar vertikāliem piekariem. - - - - konstrukcijas sākotnējais stāvoklis (nedeformētais); R - horizontālie reakcijas spēki pamatelementos; F - slodze no pamatelementiem; UY - vertikālie pārvietojumi; N - garenspēki; d - nesošo vanšu diametrs.

Taču neskatoties uz mazāku elementu skaitu, ir redzami shēmas ar slīpiem iekariem (6.a.att.) trūkumi: pārāk garas kolonnas, kas rada pārāk lielus zemākā līmeņa tipveida elementu augšējo stūru vertikālos pārvietojumus kā arī pārāk lielus horizontālus spēkus tajos, sakarā ar leņķi starp iekariem un vertikālo asi, kas var prasīt tipveida elementa pastiprināšanu. Tās nozīme, ka lietderīgāka ir pārseguma shēma ar vertikāliem iekariem (6.b.att.). No aprēķina rezultātiem redzams, ka konstrukcijai ir daudz mazāki vertikālie pārvietojumi un iekšējie spēki, kā arī neveidojas horizontālās piepūles tipveida elementos. Šo aprēķinu rezultātā iegūst datus nākošajai iterācijai - tipveida sedlveida elementa aprēķinam ar jaunām robežnosacījumu vērtībām.

6. Kopsavilkums

Ar pieejamo programmatūras nodrošinājumu var aprēķināt piepūles un pārvietojumus

sarežģītiem savstarpēji pakārtotiem (hierarhiskiem) vanšu pārsegumiem un noteikt atsevišķu konstrukciju elementu pārvietojumu ietekmi uz pārējiem konstrukcijas elementiem. Parādīts, ka veidojot augstākas pakāpes vanšu konstrukcijas, ir lietderīgi izvairīties no slīpo piekaru izmantošanas to savienošanai ar zemākas pakāpes tipveida elementiem. Hierarhiskus vanšu pārsegumus lietderīgi izmantot liela laiduma būvēs (piem. sporta laukumu, koncertzāļu, autostāvvietu pārsegumos), vietās bez sniega vai ar nelielu sniega slodzi. Šīs konstrukcijas var izmantot arī kā pilnīgi vai daļēji demontējamus pagaidu pārsegumus.

Literatūra

1. D.Serdjuks, K.Rocens, L.Pakrastinsh. "Rational geometrical characteristics of saddle shape cable roof supported by tensioned cables" in "Modern building and structures: Proc.6th Int.Conf. Vilnius 1999. Vol. II, p. 122 - 127.
2. D.Serdjuks, K.Rocēns, L.Pakrastiņš "Composite structure of saddle shape cable roof" Scientific proceedings of Riga Technical University, 2000: Vol.1 Architecture and construction science, p. 101 - 106.
3. K.Rocēns, G.Vērdiņš, D.Serdjuks, L.Pakrastiņš Latvijas Republikas patents Nr.12191 "Kompozītpārseguma konstrukcija", 20.03.1999
4. Д.Сердюк, К.Роценс, Л.Пакрастиньш "Использование композитных материалов в седловидном вантовом покрытии". Механика композитных материалов, 2000, Т.36, №5, с. 637-644.
5. L.Pakrastiņš, D.Serdjuks, K.Rocēns "Some Structural Possibilities to Decrease the Compliance of Saddle Shape Cable Structure", Proc. of the 7th Int.Conf. Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius, Lithuania, 2001, May 16-18. P. 24-25.

Leonīds Pakrastiņš, Head of Laboratory, M.sc.ing.
Institute of Structural Engineering and Reconstruction
Riga Technical University, Azenes street 16, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 7089145; Fax + 371 7089121
E-mail: leondip@latnet.lv

Kārlis Rocēns, Director of Institute of Structural Engineering and Reconstruction, Dr.habil.sc.ing.
Riga Technical University, Azenes street 16, LV 1048 Riga, Latvia
Phone: + 371 7089284; Fax + 371 7089121
E-mail: rocensk@latnet.lv

Pakrastiņš L., Rocēns K. Hierarhiskie vanšu pārsegumi.

Rakstā tiek apskatīti hierarhisko vanšu pārsegumu veidošanas un aprēķina pamatprincipi. Pārsegums veidots no tipveida negatīvā Gausa liekuma sedlveida pārsegumiem, iekarot to stūrus augstākas pakāpes vanšu konstrukcijās. Doti atsevišķie skaitliskie rezultāti.

Pakrastinsh L., Rocens K. Hierarchic cable structures.

The paper considers the hierarchic cable roofs formation and calculation principles with some numerical results. Structure is formed by negative Gauss bended type saddle shape cable roofs, by suspending separate saddle roofs corners by a higher level cable structure.

Пакрастиньш Л., Роценс К. Иерархические вантовые покрытия.

В статье рассматриваются основные принципы образования и расчета иерархических вантовых покрытий, которые создаются из типовых седловидных вантовых покрытий отрицательной Гауссовой кривизны путем подвешивания их опорных точек к вантовой конструкции высшего уровня. Приведены отдельные численные результаты.