



E. Soonurm

Kõrgroostvärkide projekteerimine

Tallinn • 1967

2/72098

A-29020

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Ehituskonstruksioonide kateeder

E. S o o n u r m

KÕRGROSTVÁRKIDE PROJEKTEERIMINE

1967

Tallinn
1967

E e s s ö n a

1914.a. andis N.M. Gersevanov kõrgete vairostvärkide arvutamiseks meetodi, mida edasi arendas G.S. Spiro. Praegu tuntakse seda arvutusvõtet ehitusmehaanikas deformatsioonimeetodi nime all. Hiljem on esitatud mitmeid uusi arvutusmeetodeid. Sisuliselt kujutavad need meetodid endast aga mitmesuguseid deformatsioonimeetodi variante. Käesolevas töös on kõrgroostvärkide arvutamiseks rakendatud taas klassikalist deformatsioonimeetodit. Analoogia tõttu tavalise raamistaatikaga peaks esitatav arvutusviis olema kergesti haaratav.

Ehkki töös on silmas peetud eeskätt sillaehituses esinevaid vairostvärke, võib antud arvutusmeetodit kasutada mistahes jäiga kõrgroostvärgi arvutamiseks.

2



I. ARVUTUSAIUSED

1. Üldmõisted

Kõrgroostvärgiks nimetatakse seda roostvärki, mille plaadi tald asetseb maapinnast kõrgemal.

Sillaehituse praktikas esineb peamiselt jäik roostvärk. Jäiga roostvärgi arvutamisel vaadeldakse vaiu elastsete varrastena, millede sisejõud on võrdelised nende deformatsioonidega. Vaiade deformatsioonid sõltuvad omakorda roostvärgi paigutustest. Rostvärk ise seejuures ei deformeeru, s.t. vaiade vahekaugus roostvärgis ei muutu.

Hoopis harvemini esineb nn. pooljäik roostvärk, mille puhul peaks arvesse võtma ka roostvärgi enese deformatsioone. Taoline olukord võiks esineda näiteks metalltaladest roostvärgi ja sellele toetuva metallist sõrestik-samba puhul, õhukese raudbetoon-roostvärgi puhul jne.

Muidugi tuleb nii "jäiga" kui ka "pooljäiga" all mõista ikkagi ainult suhtelist jäikust, võrreldes vaiade jäikusega.

Käesolevas töös vaadeldakse ainult jäiga roostvärgi arvutust.

Arvutamisel kasutatakse järgmisi eeldusi:

1. Rostvärgi jäikus on lõpmatu.
2. Vaiad kujutavad endast elastseid vardaid, millede deformatsioonid on võrdelised neile mõjuvate koormustega.
3. Vai on pinnasesse kinnitatud elastsetl. Toesidemete reaktsioonid on võrdelised paigutustega ja rahuldavad vastastikkuse printsiipi.
4. Vaia ristlõiked, samuti vaia otste kinnitustingimused on vaia pikitelje suhtes telgsümmeetrilised, seetõttu on vaia ristlõike mistahes telg ühtlasi peatelg.
5. Vaiade paigutused on nende ristlõigete mõõtetega võrreldes väikesed.

2. Kõrgroostvärgi skeemi valikust

Kõrgroostvärgid võimaldavad loobuda vundamendistüvendite ehitamisest allpool veepinda. See vähendab töömahtu ja lihtsustab ka tööde tehnoloogiat. Samaaegselt suurendab aga kõrgroostvärgi kasutamine vaiade vabapikkust (kaugust maapinna ja roostvärgi talla vahel). Rostvärgile vajaliku jäikuse ja tugevuse tagamiseks tuleb seepärast erilist tähelepanu pöörata roostvärgi ratsionaalse skeemi valikule, sest vaiade asendi või kalde muutmine mõjutab järsult vaiade sisejõude ja samba paigutusi.

Rostvärgi ratsionaalse skeemi all tuleb mõista niisugust skeemi, kus minimaalse vaiade arvu juures on vaiade asend ja kalded nii valitud, et nad tagavad vajaliku jäikuse ja soodsaimal viisil võtavad vastu mistahes koormuskombinatsiooni.

Süsteemi staatilise määramatuse ja paljude koormuskombinatsioonide tõttu on roostvärgi ratsionaalse skeemi leidmine küllalt keeruline ülesanne. Seda probleemi hakati uurima alles kümnekond aastat tagasi. Sellealastest töödest nimetame G.S. Spiro /4/, A.A. Tsarkovi /5/ ja J.A. Teni /6 ja 7/ omi. Kuna käesoleva töö eesmärgiks ei ole roostvärgi skeemide analüüs, siis piirdume siinkohal ainult eeltoodud tööde mõningate järeldustega, mis muide ei ole vastuolus ka kehtivate kõrgroostvärkide projekteerimise juhistega TVBP-56/1/.

Üldise reeglina tuleb roostvärk kombineerida püst- ja kaldvaiadest. Ainult kaldvaiu võib kasutada eriti põhjendatud juhtudel.

Kaldvaiade kasutamise korral tuleb vaiade kalle (vertikaali suhtes) valida seda suurem, mida madalamale (ligemale roostvärgi tallale) on rakendatud horisontaaljõudude resultant. Eriti kehtib see suurte jääkoormuste puhul. Teiselt poolt tuleb vältida liiga suuri ($>1:3$) ja liiga väikesi ($<1:8$) vaikaldeid. Esimesel juhul on raskusi vaia süvitamisel, teisel — roostvärgid on tundlikud tööde teostamisel tekkinud ebatäpsuste suhtes.

Rostvärgi väändejäikust tõstab kaldvaiade paigutamine võimalikult kaugele süsteemi tsentrist. Selles mõttes pole

otstarbekohased roostvärgid, milles suurem osa (>60%) vaiade pikitelgi läbib roostvärgi püsttelje.

Ainult püstvaladega roostvärk võib osutada ratsionaalseks väikeste horisontaalkoormuste ja vaiade väikese vabapikkuse juures või siis võimsate vaiade puhul.

Vaiade pikkus määratakse sõltuvalt koormustest, ehitusgeoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest ning vaia tüübist. Vaia süvitamissügavus ei tohi olla alla 4 m, lugedes maapinnast ja arvestades kohaliku uhtumise võimalust.

Vaiade minimaalne vahekaugus (samm) roostvärgi talla pinnas on 1,5 vaia läbimõõtu, vaia alumiste otste vahekaugus pinnases aga kooskõlas antud vaiatüübi kohta kehtivate tehniliste tingimustega.

Põhi- ja lisakoormuse üheaegsel mõjumisel lubatakse vaiu töötada ka tõmbele. Ainult põhikoormuse mõjumisel vaias tõmmet ei lubata.

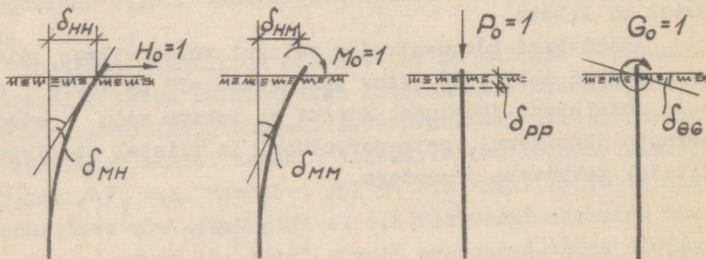
Roostvärgi kõrgusmärkide valikul tuleb silmas pidada, et roostvärgi tald peab jääma jääpaksuse +30 cm võrra allapoole madalaimat jääpinda. Samuti ei lubata vaiu otseselt koormata jääminekul, metsaparvetusel ja teistel taolistel juhtudel tekkivate jõududega.

3. Vaia otste kinnitustingimused

Kui vaiapea on roostvärgisse betoneeritud, loetakse see jäigaks kinnituseks. Kui roostvärk toetub vaiadele (näit. puitvalade ja -roostvärgi puhul), siis loetakse ühendus šarniir-seks. Kui roostvärgi pöördumine ei põhjusta vaiapeadele niisama suurt pöördemurka, kuid vaiapeades momendid siiski tekivad (kas osalise kinnituse või ekstsentrilise surve tõttu), loetakse vaiapead "elastselt kinnitatuteks". Viimasel juhul on arvutus põhimõtteliselt võimalik, kuid tülikam kui jäiga kinnituse või šarniirse kinnituse puhul. Seepärast praktikas arvutatakse "elastselt kinnitatud" vaiu nagu šarniirselt kinnitatuid. Arvutustulemusi mõjutab see üldiselt vähe.

Keerukam on lugu vaia alumise otsa kinnitustingimustega. Üldjuhul tuleks vaiaotsa kinnitust lugeda "elastseks", mida iseloomustab 5 suurust (joon.1):

- 1) ühik-pikijõu põhjustatud kinnituskoha paigutus δ_{pp} vaia telje suunas;
- 2) kinnituskohas põiksuunas rakendatud ühikjõu põhjustatud kinnituskoha põikipaigutus δ_{HH} ;
- 3) ühik-paindemomendi põhjustatud kinnituskoha pöördenurk δ_{MH} ;
- 4) ühik-väändemomendi põhjustatud väändenurk δ'_{GG} kinnituskohas;
- 5) vaia kinnituskoha pöördenurk δ_{MH} , mille põhjustajaks on kinnituskohas põiksuunas rakendatud ühikjõud, või (paigutuste vastastikkuse alusel) temale võrdne kinnituskoha põikipaigutus δ'_{HH} , mille põhjustab ühikmoment.



Joon. 1

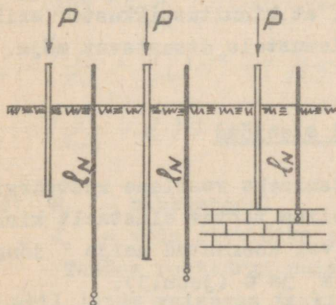
Põhimõtteliselt võiks vaia elastse kinnituse kohaks valida punkti mistahes sügavusel. Arvutuse lihtsustamise seisukohalt on kõige soodsam kinnituskohaks valida maapinna joon. Raskused seisnevad aga selles, et eelloetletud viis suurust, mis iseloomustavad elastset kinnituskohata (ükskõik kus see ka asuks!), tuleb määrata katseliselt konkreetsel ehituskohal.

Katseandmete puudumise korral tehakse arvutuskeemis järgmine lihtsustus: vaiade alumised otsad loetakse kas jäigalt või šarniirselt kinnitatuiks teataval sügavusel maapinnast. Seejuures püütakse kinnituskoha valikuga iseloomustada vaia pinnases töötamise tegelikku iseloomu.

Tuleb teha vahet kolme kinnituskoha vahel.

- Olgu l_N - vaia arvutuslik survepikkus;
 l_M - vaia arvutuslik paindepikkus;
 l_G - vaia arvutuslik väändepikkus.

Vaiapea paigutus ei sõltu ainult vaia deformeerumisest-lühenemisest, vaid ka vaia ümbritseva pinnase elastisest paigutusest. See suurendab vaia paigutust ja seega ka vaia arvutuslikku survepikkust l_N . Hõõrdejõud vaia külgpinnal omakorda vähendavad pisut l_N -i. Üldiselt on esimene mõju suurem ja seepärast võib l_N olla suurem vaia faktilisest pikkusest. Kui vai toetub otsaga kaljule, siis võib l_N -i võtta võrdseks vaia tegeliku pikkusega (joon.2).



Joon.2

Niisama suure rammimissügavuse juures on l_N suurem sel vaial, mis asetseb nõrgemas pinnases.

Rammimissügavuse suurenemisega üldiselt l_N väheneb.

Ka põikjõu ja paindemomendi puhul on selgunud, et eksisteerib teatav rammimissügavus, mille suurendamisel vaia jäikus põikjõu ja paindemomendi mõttes oluliselt ei suurene. Nähe seletub sellega, et nii põikjõud kui ka

paindemomendid kustuvad enne sügavusse jõudmist.

Vaia rammimissügavuse suurenemisega väheneb l_M ja vastupidi. Vaia ristlõike suurendamisel suureneb ka arvutuslik l_M .

Ka l_G , nagu l_N ja l_M -gi, ületab vaia vabapikkuse ja väheneb teatud miinimumpiirini rammimissügavuse suurendamisel. Väikese rammimissügavuse puhul vaiaotsa väändekinnitust arvesse ei võeta - loetakse šarniirseks.

Kehtivad tehnilised juhendid TVBP-56 /1, p.42 ja 43/ lubavad vaia survepikkuseks l_N võtta, pinnase liigist sõltumata, kauguse roostvärgi tallapinnast vaiaotsani, s.o. faktilise pikkuse.

Painde- ja vändepikkus võetakse võrdsetena järgmisel kujul:

- a) kui $l_1 \leq 2\eta d$, siis
 $l_M = l + 2\eta d - l_1/2$;
 b) kui $l_1 > 2\eta d$, siis
 $l_M = l + \eta d$,

kus: l - vaia vabapikkus (rostvärgi tallapinnast kuni maapinnani, arvestades kohalikku uhtumist);

l_1 - rammimissügavus kohalikku uhtumist arvestades;

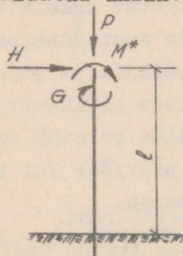
d - vaia diameeter;

η - tegur piires 5-7 (seda väiksem, mida tihedamad on ülemised kihid ja mida suurem vaia paindejäikus).

Nagu öeldud, täpsem kinnitustingimuste määramine eeldab katseandmeid. Õnneks selgub, et kinnituspikkuste erinevused ei avalda arvutuse lõpptulemustele otsustavat mõju.

4. Vaiapea paigutamisel tekkivad sisejõud

Vaiapea paigutuste selgitamiseks vaatleme rostvärgist eraldatud üksikvaia. Olgu konsoolina töötav elastset kinnitatud vai koormatud nelja jõuga P , H , M^* ja G (joon.3).



Elastne kinnitus

Joon.3

Beldame, et elastse kinnituskoha karakteristikud on teada.

Vaiapea paigutused kujutavad vaia kinnituskoha (maapinna joonel) ja vaia vaba osa kui konsooli paigutuste summat.

Järgnevalt kirjutame detailselt välja ühe paigutuse, näit. vaiapea horisontaalpaigutuse Δ_H avaldise kõik liikmed:

$$\Delta_H = (H\delta_{HH} + H\delta_{MH}) + \frac{Hl^3}{3EJ} + (H\delta_{MM} \cdot l + H\delta_{HM}) + (M^*\delta_{MH} \cdot l + M^*\delta_{HM}) + \frac{M^*l^2}{2EJ}$$

Selle avaldise 1. liige annab vaiapea horisontaalpaigutuse, mida põhjustab maapinnal (s.o. vaia kinnituskohas) rakendatud jõud H , ja 2. liige konsooli otsa rakendatud jõu H põhjustatud "läbipainde".

3. ja 4. liige annavad konsooli otsa horisontaalpaigutused, mida põhjustavad maapinna joonel rakendatud momendid $H\ell$ ja M^* . Ja lõpuks 5. liige lisab konsooli otsa rakendatud momendi M^* mõju.

Taolise mõttekäigu abil on leitud kõik alljärgnevad paigutused:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_p &= \left(\frac{\ell}{EF} + \delta_{pp} \right) P; \\ \Delta_H &= \left(\frac{\ell^3}{3EJ} + \delta_{MM}^2 + 2\delta_{HM}\ell + \delta_{HH}^2 \right) H + \left(\frac{\ell^2}{2EJ} + \delta_{MM}\ell + \delta_{HM}^2 \right) M^*; \\ \Delta_M &= \left(\frac{\ell}{EJ} + \delta_{MM} \right) M^* + \left(\frac{\ell^2}{2EJ} + \delta_{MM}\ell + \delta_{HM}^2 \right) H; \\ \Delta_G &= \left(\frac{\ell}{EJ_0} + \delta_G \right) G = \left(1,25 \frac{\ell}{EJ} + \delta_G \right) G, \end{aligned} \right\} (1)$$

kus: E , - nihkemoodul,

J_0 - vaia ristlõike polaarinertsimoment.

Teades roostvärgi paigutusi, on võimalik nende valemite abil leida vaiapeas tekkivaid sisejõude N , Q , M ja M_v . Need sisejõud on mitmesuguste vaiapea kinnitustingimuste jaoks arvutatud valemite (1) abil ja toodud tabelis 1.

Tabelis 1 on kasutatud uusi tähiseid:

- β_1 - pikijõud N , mis tekib vaiapeas vaia telje suunalise ühikpaigutuse puhul;
- β_2 - jõud Q ja β_3 - moment M , mis tekivad vaiapeas ja põhjustavad painde roostvärgi ühikpaigutusel H suunas;
- β_4 - moment M ja β_5 - jõud Q , mis tekivad vaiapeas ja põhjustavad vaia painde roostvärgi ühikulisel pöördumisel momendi M^* suunas;
- β_6 - vaia väännet põhjustav moment M_v , mis tekib roostvärgi ühikulisel pöördumisel momendi G suunas.

Kui elastse kinnituse iseloomustajad võtta valemis (1) nulliks, saame valemid järgalt kinnitatud vaia jaoks.

Tabel 1

Sisejõud valapeas

Vaia alu- mise otsa sise- kinnituse jõud iseloom		Valapea kinnitusviis rostväärgis					
		Liigend		Jälgalt kinnitatud			
1	2	$\Delta_p = 1$ piki vaia telge alla	$\Delta_H = 1$ risti vaia teljega parem.	$\Delta_p = 1$ piki vaia telge alla	$\Delta_H = 1$ risti vaia teljega parem.	$\Delta_M = 1$ pööre kella- osuti suunas	$\Delta_G = 1$ kella- osuti suunas
	3		4	5	6	7	8
	$\rho_1 = \frac{l}{\frac{l}{EF} + d_p}$			$\rho_1 = \frac{l}{\frac{l}{EF} + d_p}$			
						$\rho_3 = \frac{-d_3}{d_1 d_2 - d_3^2}$	
			$\rho_2 = \frac{1}{d_1}$		$\rho_2 = \frac{d_2}{d_1 d_2 - d_3^2}$	$\rho_4 = \frac{d_1}{d_1 d_2 - d_3^2}$	
							$\rho_5 = \frac{1}{125 \frac{l}{EF} + d_6}$

$$\rho_1 = \frac{l^3}{3EF} + d_{MM} l^2 + 2d_{HM} l + d_{HH}; \quad \rho_2 = \frac{l}{EF} + d_{MM}; \quad \rho_3 = \frac{l^2}{2EF} + d_{MM} l + d_{MH}$$

1	2	3	4	5	6	7	8
Jäik kinnitus	N	$\rho_1 = \frac{EF}{l_N}$	—	$\rho_1 = \frac{EF}{l_N}$	—	—	—
	Q	—	$\rho_2 = \frac{3EJ}{l_N^3}$	—	$\rho_2 = \frac{12EJ}{l_N^3}$	$\rho_3 = \frac{-6EJ}{l_N^2}$	—
	M	—	—	—	$\rho_3 = \frac{-6EJ}{l_N^2}$	$\rho_4 = \frac{4EJ}{l_N}$	—
	M_N	—	—	—	—	—	$\rho_5 = \frac{EJ}{125l_0}$
Liigend	N	$\rho_1 = \frac{EF}{l_N}$	—	$\rho_1 = \frac{EF}{l_N}$	—	—	—
	Q	—	—	—	$\rho_2 = \frac{3EJ}{l_N^3}$	$\rho_3 = \frac{-3EJ}{l_N^2}$	—
	M	—	—	—	$\rho_3 = \frac{-3EJ}{l_N^2}$	$\rho_4 = \frac{3EJ}{l_N}$	—
	M_N	—	—	—	—	—	—

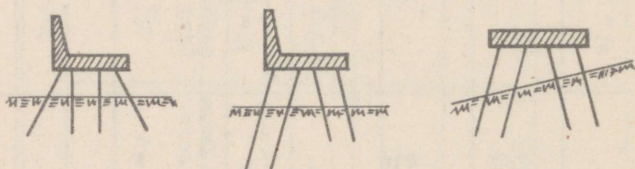
Liigendkinnituse jaoks saadakse valemid avaldistest
(1) eeldusel, et

$$\delta_{pp} = 0; \delta_{HH} = 0; \delta_{MH} = \delta_{HM} = 0; \delta_{MM} = \infty; \delta_{GG} = \infty.$$

5. Kõrgroostvärgi arvutuskeem

Põhimõtteliselt tuleks kõrgroostvärke arvutada ruumlike süsteemidena. Kuid praktika seisukohalt küllaldase täpsusega tulemused saadakse tihti ka ruumliku süsteemi asendamisel kahe tasapinnalise skeemiga, eriti sümmeetrilise roostvärgi puhul.

Sümmeetria all mõeldakse kõrgroostvärgi juures mitte ainult sümmeetrilist vaiade asetust, vaid ka sümmeetriat nende pikkuses, ristlõike mõtudes, roostvärki ja pinnasesse kinnitamise iseloomus jne. Rostvärgi enese konstruktsiooni osas sümmeetrial või asümmeetrial tähtsust ei ole (joon.4).



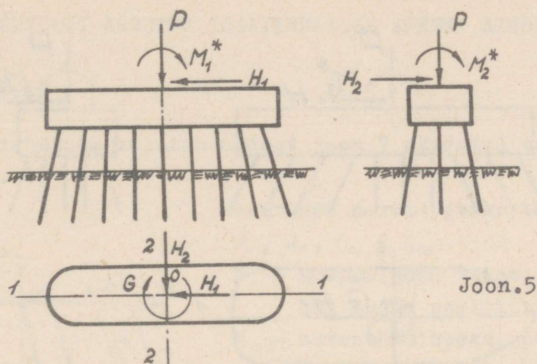
Sümmeetriline

Ebasümmeetrilised

Joon.4

Kahe sümmeetriatelje olemasolu korral jagatakse roostvärgile mõjuvad jõud joon.5 näidatud kujul. Väändemoment G mõjub horisontaaltasapinnas ümber punkti O .

Jõu P mõjumisel tekib ainult vertikaalpaigutus. Teised 5 võimalikku paigutust on nullid. Arvutamisel projekteeritakse kõik vaiad kas tasapinnale 1-1 või 2-2.



Joon.5

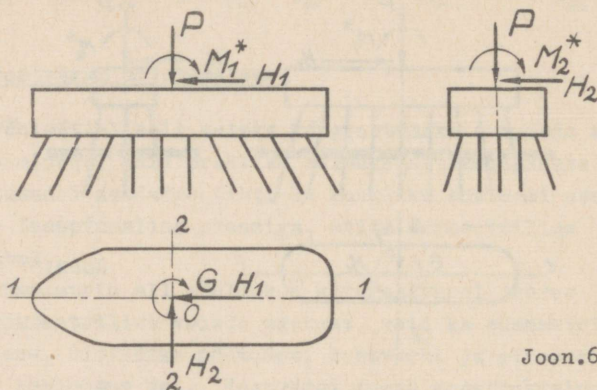
H_1 ja M_1^* mõjul roostvärk pöörduv ja saab ka horisontaalpaigutuse. Ülejäänud 4 komponenti on nullid. Arvutatakse jällegi tasapinnalise skeemina. Sama kehtib ka H_2 ja M_2^* kohta.

Väändemoment G võib esineda ka sümmeetrilise roostvärki puhul - näiteks ühel sõidurajal pidurdamise tõttu, jääsurvel jne. Ebasümmeetrilise roostvärki puhul on väändemoment peagu vältimatu. Väändemomendile arvutatakse kõrgroostvärki ruumliku konstruktsioonina.

Ühe sümmeetriateljega roostvärki puhul tuleb kõik koormused taandada punkti O sümmeetriateljel 1-1. Joon.6 on näha, missuguste skeemide alusel tuleb väliskoormusi arvesse võtta. Väändemoment G nõuab jälle arvutust ruumliku süsteemina.

Ebasümmeetrilisi roostvärke võib ligikaudu arvutada nagu kahe sümmeetriateljega roostvärki (juhul kui asümmeetria pole suur). Sel juhul leitakse tinglike sümmeetriatelgede asend nagu ebasümmeetriliste ristlõigete peatelgede asend. Selleks leitakse algul vaiade ristlõigete raskuskese ja seejärel telgede suunad. Taoline ligikaudne arvutusvõtte annab rahuldavaid tulemusi siis, kui läbi tinglike sümmeetriatelgede (peatelgede) on võimalik ette kujutada vertikaalseid ta-

sapindu nii roostvärgi tallas kui ka vaiade kinnituskohas pinnases. Vastasel juhul on taoline ligikaudne arvutus üsna jäme.



Joon.6

Mõnel juhul, eriti ebasümmeetriliste roostvärgide puhul, võib ruumliku süsteemi arvutus osutada hoopis lihtsamaks kui arvutus kahe tasapinnalise skeemi abil. Seda eriti väändemomendi olemasolu korral.

Tasapinnalises arvutusskeemis kujutab üks joon (vaia telg) tervet vaiade gruppi, mis asetseb samal sirgel, kuid joonise tasapinnaga risti. Selle nn. gruppvaia pikkuseks jääb tema tegelik pikkus. Ristlõikepind, inertsimoment ja elastset kinnitust iseloomustavad suurused tuleb korrutada reas olevate vaiade arvuga n .

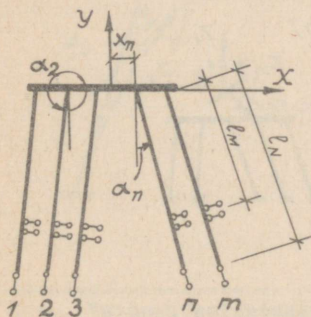
Arvutusskeemi loomisel loeme "võrdseiks" need vaiad, mis on samast materjalist, sama ristlõikega, sama vabapikkuse ja kinnitustingimustega nii roostvärgis kui ka pinnases.

Vaia sisejõud ja deformatsioonid, samuti roostvärgi paigutused ei sõltu jäiga roostvärgi puhul otseselt koormuse jaotusest, vaid ainult resultantidest. Rostvärgi sisejõud aga sõltuvad juba koormuse jaotusest.

II. KÕRGROSTVÄRGI ARVUTUS TASAPINNALISE SKEEMI ALUSEL

1. Põhisüsteem

Põhisüsteem kujutab endast joon.7 näidatud tasapinnalist raami.



Joon.7

Suurused n-vaia jaoks tähistame:

F_n , J_n , l_{Nn} , l_{Mn} .

N_n - normaaljõud vaia, surve puhul loeme positiivseks;

M_n - moment vaiapeas, positiivne, kui vaia alumine ots pöördub kellaosuti suunas;

Q_n - põikjõud, positiivne vaia alumise otsa pöördumisel kellaosuti suunas;

α_n - on positiivne siis, kui vai asetseb vaiapead lähivast vertikaalist paremal.

Väliskoormuse kohta märgime:

P - koormuse vertikaalkomponent, positiivne suund ülalt alla;

H - koormuse horisontaalkomponent, positiivne suund paremalt vasakule;

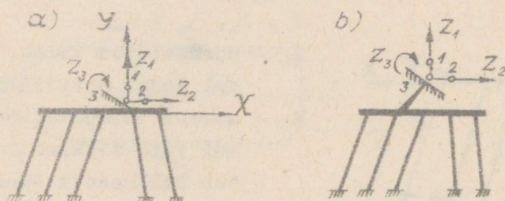
M^* - koormuse moment koordinaatide alguse suhtes, positiivne suund - pöördumine kellaosuti suunas.

Arvutus on soovitatav teha eraldi $P = 1 T$, $H = 1 T$ ja $M^* = 1 Tm$ kohta ja pärast kombineerida tulemusi vastavalt tegelikule koormuspildile.

Põhimõtteliselt võib kõrgroostvärki arvutada ükskõik missuguse ehitusmehaanika meetodiga. Jõumeetod pole siiski sobiv, sest suure vaiade arvu puhul võib määramatuse aste ulatuda mitmekümneni. Absoluutselt jäiga roostvärgi puhul on kõige soodsam kasutada deformatsioonimeetodit. Rostvärgi mista-

hes punkti paigutused on sel juhul määratavad kolme suurusega, näiteks kahe siirde ja ühe pöördega. Samad suurused määravad ka valapeade paigutused alumise kinnituskoha suhtes.

Põhiskeemi võib valida mitmel viisil: 2 neist on näidatud joon.8. Soodsaimaks osutub skeem a.



Joon. 8

Tundmatute Z_1 , Z_2 ja Z_3 positiivsed suunad on näidatud skeemil.

Deformatsioonimeetodi kanooniliste võrrandite süsteem esineb antud juhul kujul:

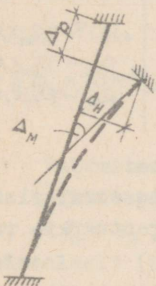
$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}Z_3 + R_1 &= 0; \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}Z_3 + R_2 &= 0; \\ r_{31}Z_1 + r_{32}Z_2 + r_{33}Z_3 + R_3 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

kus r_{ik} - ühikpaigutuse $Z_k = 1$ põhjustatud sisejõud sidemes i ;
 R_i - koormuse tekitatud sisejõud sidemes i .

Sisejõud r ja R on positiivsed, kui sidemete reaktsioonid on suunatud nende sidemete positiivsete paigutuste suunas.

2. Sisejõud põhisüsteemis rostvärki ühikpaigutuste korral

Vaia sisejõud määratakse vaiapea kolme paigutuse abil: siirdega piki vaia telge $\Delta_{p\pi}$, risti vaia telge $\Delta_{H\pi}$ ja pöördega $\Delta_{M\pi}$.



Joon.9

Positiivsed on need suurused juhul, kui $\Delta_{p\pi}$ põhjustab vaia lühenemise, $\Delta_{H\pi}$ puhul vaia pea paigutub paremale ja $\Delta_{M\pi}$ on suunatud kellaosuti suunas.

Ühikpaigutuste $\Delta_{p\pi} = 1$; $\Delta_{H\pi} = 1$ ja $\Delta_{M\pi} = 1$ tekitatud sisejõud vaia π peas on arvutatavad tabeli 1 abil. Tulemused esitame tabelis 2.

Tabel 2

Vaiapea paigutused Sisejõud vaiapeas	$\Delta_{p\pi} = 1$	$\Delta_{H\pi} = 1$	$\Delta_{M\pi} = 1$
N_{π}	$\rho_{1\pi}$	-	-
Q_{π}	-	$\rho_{2\pi}$	$\rho_{3\pi}$
M_{π}	-	$\rho_{3\pi}$	$\rho_{4\pi}$

Järgnevalt leiame vaiapea paigutused vaia alumise otsa suhtes ühikpaigutuste Z_1 , Z_2 ja Z_3 puhul:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 = 1; \quad \Delta_{p\pi} &= -\cos \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{H\pi} = \sin \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{M\pi} = 0; \\ Z_2 = 1; \quad \Delta_{p\pi} &= \sin \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{H\pi} = \cos \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{M\pi} = 0; \\ Z_3 = 1; \quad \Delta_{p\pi} &= x_{\pi} \cos \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{H\pi} = -x_{\pi} \sin \alpha_{\pi}; \quad \Delta_{M\pi} = 1. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$\Delta_{M\pi} = 1$ kehtib ainult jäigalt rostvärki kinnitatud vaiapea puhul. Sarniirse kinnituse korral $\Delta_{M\pi} \neq 1$.

Seoste (3) ja tabeli 2 abil saab nüüd leida ühikpaigutuste Z_1 , Z_2 ja Z_3 tekitatud sisejõud vaiapeades (tabel 3).

Tabel 3

Rostvärgi paigutuste tekitatud sisejõud vaiapeades

Si- sejõud vaiapeades	Paigutu- sed	$Z_1 = 1$ (üles)	$Z_2 = 1$ (paremale)	$Z_3 = 1$ (osuti suunas)
N_n		$-\rho_n \cos \alpha_n$	$\rho_n \sin \alpha_n$	$\rho_n x_n \cos \alpha_n$
Q_n		$\rho_n \sin \alpha_n$	$\rho_n \cos \alpha_n$	$\rho_n - \rho_n x_n \sin \alpha_n$
M_n		$\rho_n \sin \alpha_n$	$\rho_n \cos \alpha_n$	$\rho_n - \rho_n x_n \sin \alpha_n$

Kanoonilise võrrandisüsteemi kordajate arvutamisel raami riivi sisejõude leida pole tarvis, sest rostvärki vaadeldakse lõpmatu jäigana.

Rostvärgile mõjuvatest jõududest põhisüsteemi vaiades sisejõude ei teki, sest koormus võetakse vastu raami lisasidemetega.

3. Võrrandisüsteemi koostamine

Põhisüsteemi lisasidemete reaktsioone on kerge leida, teades vaiades tekkivaid sisejõude. Selleks tuleb kõik raamiriivile mõjuvad sisejõud projekteerida tugivarraste 1 ja 2 (joon.8 a) suundadele ja määrata nende momendid punkti 0 suhtes.

Lisasidemete reaktsioonid on neile projektsioonidele ja paindemomentidele suuruselt võrdsed, kuid vastassuunalised. Reaktsioonide suurused:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= -\Sigma Y = -\Sigma N_n \cos \alpha_n + \Sigma Q_n \sin \alpha_n; \\ r_2 &= -\Sigma X = \Sigma N_n \sin \alpha_n + \Sigma Q_n \cos \alpha_n; \\ r_3 &= -\Sigma M_0 = \Sigma \rho_n x_n \cos \alpha_n - \Sigma Q_n x_n \sin \alpha_n + \Sigma M_n, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

mida saab arvutada tabelite 1 ja 3 abil.

Tabeli 3 abil saame seoseist (4):

$$\left. \begin{aligned}
 r_{11} &= \sum \rho_{1n} \cos^2 \alpha_n + \sum \rho_{2n} \sin^2 \alpha_n; \\
 r_{12} = r_{21} &= -\sum (\rho_{1n} - \rho_{2n}) \sin \alpha_n \cdot \cos \alpha_n; \\
 r_{13} = r_{31} &= -\sum \rho_{1n} x_n \cos^2 \alpha_n - \sum \rho_{2n} x_n \sin^2 \alpha_n + \sum \rho_{3n} \sin \alpha_n; \\
 r_{22} &= \sum \rho_{1n} \sin^2 \alpha_n + \sum \rho_{2n} \cos^2 \alpha_n; \\
 r_{23} = r_{32} &= \sum (\rho_{1n} - \rho_{2n}) x_n \sin \alpha_n \cdot \cos \alpha_n + \sum \rho_{3n} \cos \alpha_n; \\
 r_{33} &= \sum \rho_{1n} x_n^2 \cos^2 \alpha_n + \sum \rho_{2n} x_n^2 \sin^2 \alpha_n - 2 \sum \rho_{3n} x_n \sin \alpha_n + \sum \rho_{4n}.
 \end{aligned} \right\} (5)$$

Valemities (5) on mõned liikmed väikesed, võrreldes nende liikmetega, mis sisaldavad suuruse ρ_1 . Eeldades näiteks, et $l_n = l_N$, on r_{11} avaldises teise liikme suhe esimesse maksimaalselt (ühe või kahe kohta)

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} \tan^2 \alpha = \frac{12J}{Fl^2} \tan^2 \alpha = \frac{12}{\lambda^2} \tan^2 \alpha,$$

kus $\lambda = \frac{l_N}{l}$ on vaia saledus (i-ristlõike inertsraadius). Kui võtta $\max \tan \alpha = 0,3$ (ca 17°) ja $\min \lambda = 30$, siis praktiliselt esineda võib suurim suhe $\rho_2/\rho_1 \approx 0,001$. Loomulik, et sellest suurusest võib arvutustes loobuda. Pärast väikeste suuruste hülgamist jääb (5) kujus:

$$\left. \begin{aligned}
 r_{11} &= \sum \rho_{1n} \cos^2 \alpha_n; \\
 r_{12} = r_{21} &= -\sum \rho_{1n} \sin \alpha_n \cdot \cos \alpha_n; \\
 r_{13} = r_{31} &= -\sum \rho_{1n} x_n \cos^2 \alpha_n; \\
 r_{22} &= \sum \rho_{1n} \sin^2 \alpha_n + \sum \rho_{2n} \cos^2 \alpha_n; \\
 r_{23} = r_{32} &= \sum \rho_{1n} x_n \sin \alpha_n \cdot \cos \alpha_n + \sum \rho_{3n} \cos \alpha_n; \\
 r_{33} &= \sum \rho_{1n} x_n^2 \cos^2 \alpha_n + \sum \rho_{4n}.
 \end{aligned} \right\} (6)$$

Lisasidemete reaktsioonid väliskoormusest:

$$\left. \begin{aligned}
 R_1 &= P; \\
 R_2 &= H; \\
 R_3 &= -M.
 \end{aligned} \right\} (7)$$

Võrrandisüsteem koostatakse (2) kujul, kust leitakse tundmatud paigutused:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{1}{D} (m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3); \\ Z_2 &= \frac{1}{D} (m_2 R_1 + m_4 R_2 + m_5 R_3); \\ Z_3 &= \frac{1}{D} (m_3 R_1 + m_5 R_2 + m_6 R_3), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

kus: $D = -(r_{11} m_1 + r_{12} m_2 + r_{13} m_3);$

$$m_1 = r_{22} r_{33} - r_{23}^2;$$

$$m_2 = r_{13} r_{23} - r_{12} r_{33};$$

$$m_3 = r_{12} r_{23} - r_{22} r_{13};$$

$$m_4 = r_{11} r_{33} - r_{13}^2;$$

$$m_5 = r_{12} r_{13} - r_{11} r_{23};$$

$$m_6 = r_{11} r_{22} - r_{12}^2.$$

Pärast Z_1 , Z_2 ja Z_3 arvutamist leitakse konstruktsiooni sisejõud ühega kahest võimalikust meetodist.

1. Määratakse iga vaia pea paigutus valaotsa suhtes valemitiga, mis tulenevad avaldistest (3):

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{R_n} &= -Z_1 \cos \alpha_n + Z_2 \sin \alpha_n + Z_3 x_n \cos \alpha_n; \\ \Delta_{H_n} &= Z_1 \sin \alpha_n + Z_2 \cos \alpha_n - Z_3 x_n \sin \alpha_n; \\ \Delta_{N_n} &= Z_3. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Edasi leitakse sisejõud vaiapeas tabel 1 abil ja soovi korral vaia teistes ristlõigetes ning roostvärgis.

2. Tabelis 3 toodud ühikpaigutustest põhjustatud sisejõud korrutatakse leitud tundmatutega. Saadud korrutised summeerituna annavadki sisejõud vaiades.

Kui arvutusskeemis kasutati nn. gruppvaia võtet, siis leitud sisejõud kehtivad muidugi gruppvaia kohta ja need tuleb ära jagada grupis olevate vaiade vahel.

Lõplikke sisejõude vaiades võib kontrollida raami tasakaalutingimuste abil:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma Y &= \Sigma N_n \cos \alpha_n - \Sigma Q_n \sin \alpha_n - P = 0; \\ \Sigma X &= -\Sigma N_n \sin \alpha_n - \Sigma Q_n \cos \alpha_n - H = 0; \\ \Sigma M &= -\Sigma P_n x_n \cos \alpha_n + \Sigma Q_n x_n \sin \alpha_n - \Sigma M_n + M^* = 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Lõplikke sisejõudude epüüre võib kontrollida ka sel teel, et leitakse ehitusmehaanika tavaliste võtetega paigutused neis kohtades, kus nende väärtused on ette teada: näit. mõlemast otsast jäigalt kinnitatud vaia puhul on kinnituskoha pöördenurk pinnases null jne.

4. Elastse keskmee küsimus kõrgroostvärgi puhul

Võrrandisüsteemi (2) kordajad r_{ik} sõltuvad igal üksikjuhul nullpunkti 0 asukohast ja lisasidemete suundadest. Sobiva 0 ja sidemete asendi valikuga võib mõne või kõik mitteruutkordajad muuta nulliks, s.t. paarikaupa võivad muududa nulliks

$$r_{12} = r_{21} = 0; \quad r_{13} = r_{31} = 0; \quad r_{23} = r_{32} = 0$$

ja võrrandisüsteem saab kuju

$$\left. \begin{aligned} r_{11} Z_1 + R_1 &= 0; \\ r_{22} Z_2 + R_2 &= 0; \\ r_{33} Z_3 + R_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Paigutuste Z_1 ja Z_2 suund, mis rahuldaks tingimust

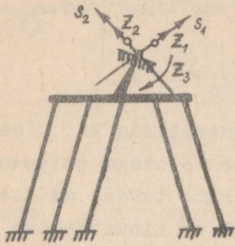
$$r_{12} = r_{21} = 0, \text{ määratakse valemiga}$$

$$\tan 2\omega = \frac{2P_{vv}}{P_{vv} - P_{hh}}, \quad (12)$$

kus P_{vv} - vertikaalsideme reaktsioon ja P_{hv} - horisontaalsideme reaktsioon roostvärgi ühikpaigutusel mööda vertikaali;

P_{vh} ja P_{hh} - samad reaktsioonid roostvärgi ühikpaigutusel horisontaalsuunas;

ω - ühe peasuuna ja vertikaali vaheline nurk.



Joon.10

Kui punktist O eemaldada kõik sidemed ja rakendada ühe eemaldatud sideme suunas mingi jõud X , siis saab roostvärk paigutuse ainult selle jõu suunas. Kahe ülejäänud sideme suunas on paigutused nullid, sest ka sideme olemasolu korral oleksid seal sisejõud puudunud.

Selle poolest on O -punkti omadused analoogilised jõumeetodi puhul tuntud elastse keskmee omadustega. Võrrandeist (11) nähtub, et roostvärgi pöördenurk on võrdeline väliskoormuse momendiga O -punkti suhtes. Järelikult need koormused, millede resultant läbib O -punkti, ei põhjusta roostvärgi pööret, vaid ainult translatoorseid paigutusi.

Elastse keskmee mitmesuguste omaduste kasutamisel baseerubki terve rida arvutusmeetodeid, millede autoritest nimetame: A.Ostenfeld /8/, Chr.Nökkentved /9/, C.Vetter /10/, Fr.Schiel /11/ ja D.V.Fedorovski /12/.

Elastse keskmee idee teõi A.A.Tsarkov /5/ juurde veel nn. nullpaigutuste punkti mõiste. See on punkt, kuhu rakendatud horisontaaljõud põhjustab roostvärgi pöörde ümber talle tsentri ja vastupidi. Seda meetodit arendas edasi J.A.Ten /6/.

Kõik siin nimetatud meetodid kujutavad (vahel varjatud kujul) üldise deformatsioonimeetodi variante.

Meetodite võrdlusest järeldub:

1. Arvutuse lõpptulemused on kõikide meetodite puhul praktiliselt samad.

2. Arvutustöö keerukus ja mahukus kõikide meetodite puhul on peagu sama. See seletub sellega, et näiteks kanoonilise võrrandisüsteemi lihtsustatud kuju eeldab jälle suuremat tööd elastse keskmee leidmisel jne.

3. N.-õ. klassikalise deformatsioonimeetodi kasutamisel ei ületa töömaht teiste meetodite oma, kuid on ülesehituselt selge ja identne tavalises raamistatikas kasutatavate võtetega.

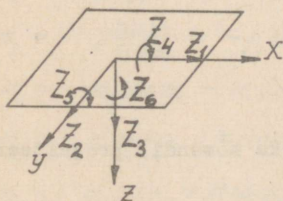
4. Kõrgroostvärkide ratsionaalse skeemi otsimisel pakub elastse keskme ja nullpaigutuste punkti võtte kasutamine teatavaid eeliseid.

III. KÕRGROOSTVÄRGI ARVUTUS RUUMLIKU KONSTRUKTSIOONINA

1. Põhisüsteem

Üldisema lahenduse huvides vaatleme ebasümmeetrilist roostvärki, milles vaiad võivad olla kaldu mitmes eri suunas; vaiapead võivad olla erinevatel kõrgustel, ei pruugi olla ühes kindlas tasapinnas. Eeldame, et koormus on rakendatud roostvärgile, mitte otse vaiadele.

Põhisüsteemiks valime süsteemi, millesse on paigutatud roostvärgi liikumatuse tagamiseks 6 lisasidet: 3 sidet, mis takistavad roostvärgi vaadeldava punkti (koordinaatide



alguse) translatoorset paigutamist telgede X, Y ja Z suunas ja 3 sidet, mis takistavad roostvärgi pöördumist nende telgede ümber.

Tundmatud tähistame $Z_1 - Z_6$. Märkide reegel selgub joon.11: skeemil on näidatud tundmatute positiivsed suunad.

Joon.11

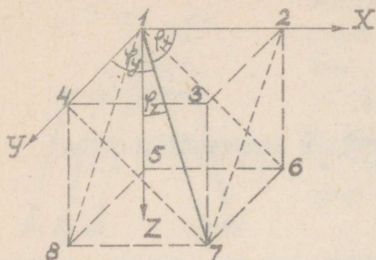
Deformatsioonimeetodi kanoonilised võrrandid:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}Z_3 + r_{14}Z_4 + r_{15}Z_5 + r_{16}Z_6 + R_1 &= 0; \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}Z_3 + r_{24}Z_4 + r_{25}Z_5 + r_{26}Z_6 + R_2 &= 0; \\ \dots & \\ r_{61}Z_1 + r_{62}Z_2 + r_{63}Z_3 + r_{64}Z_4 + r_{65}Z_5 + r_{66}Z_6 + R_6 &= 0, \end{aligned} \right\} (13)$$

kus r_{ik} - sideme i reaktsioon paigutusele $Z_k = 1$,

R_i - koormuse põhjustatud reaktsioon sidemes i.

2. Vaia reaktsioon vaiapea ühikpaigutusele



Moodustagu vai valitud koordinaattelgedega X, Y ja Z vastavalt nurkad φ_x , φ_y ja φ_z (joon.12).

Järgnevalt leiame vaia poolt rostvargile mõjuvad jõud rostvargi mitmesuguste paigutuste puhul.

Joon.12

a. Vaiapea ühikpaigutus telje X suunas ($\Delta_x = 1$)

Vai deformeerub tasapinnas 1278. Seejuures $\Delta_p = \cos \varphi_x$ ja $\Delta_H = \sin \varphi_x$.

Vaiapeas tekivad nüüd sisejõud:

$$N = \rho_1 \cos \varphi_x;$$

$$Q = \rho_2 \sin \varphi_x;$$

$$M = \rho_3 \sin \varphi_x;$$

$$M_y = 0.$$

Vaia reaktsiooni (nii jõu kui ka momendi) projekteerime telgedele X, Y ja Z:

$$\left. \begin{aligned} N_x &= -N \cos \varphi_x - Q \sin \varphi_x = -\rho_1 \cos^2 \varphi_x - \rho_2 \sin^2 \varphi_x; \\ N_y &= (-N \sin \varphi_x + Q \cos \varphi_x) \frac{\cos \varphi_y}{\sin \varphi_x} = (-\rho_1 + \rho_2) \cos \varphi_x \cdot \cos \varphi_y; \\ N_z &= (-N \sin \varphi_x + Q \cos \varphi_x) \frac{\cos \varphi_z}{\sin \varphi_x} = (-\rho_1 + \rho_2) \cos \varphi_x \cdot \cos \varphi_z; \\ M_x &= 0; \\ M_y &= -M \frac{\cos \varphi_z}{\sin \varphi_x} = -\rho_3 \cos \varphi_z; \\ M_z &= M \frac{\cos \varphi_y}{\sin \varphi_x} = \rho_3 \cos \varphi_y. \end{aligned} \right\} (14).$$

Nende reaktsioonide (mõjuvad roostvärgile!) kohta kehtib joon.11 näidatud märkide reegel.

b. Vaiapea ühikpööre telje X ümber ($\gamma_x = 1$)

Vaiapeas tekivad sisejõud:

$$N = 0;$$

$$Q = \rho_3 \sin \varphi_x;$$

$$M = \rho_4 \sin \varphi_x;$$

$$M_v = \rho_5 \cos \varphi_x.$$

Vaias painet põhjustavad M ja Q mõjuvad tasapinnas, mis on risti tasapinnaga 1278 (joon.12).

Projekteerides saame:

$$N_x = 0;$$

$$N_y = Q \frac{\cos \varphi_2}{\sin \varphi_x} = \rho_3 \cos \varphi_2;$$

$$N_z = -Q \frac{\cos \varphi_4}{\sin \varphi_x} = -\rho_3 \cos \varphi_4;$$

$$M_x = -M_v \cos \varphi_x - M \sin \varphi_x = -\rho_5 \cos^2 \varphi_x - \rho_4 \sin^2 \varphi_x;$$

$$M_y = -M_v \cos \varphi_y + M \sin \varphi_x \frac{\cos \varphi_4}{\sin \varphi_x} = (-\rho_5 + \rho_4) \cos \varphi_x \cos \varphi_y;$$

$$M_z = -M_v \cos \varphi_z + M \cos \varphi_x \frac{\cos \varphi_2}{\sin \varphi_x} = (-\rho_5 + \rho_4) \cos \varphi_x \cos \varphi_z.$$

(15)

Samal viisil saame leida vaiapea reaktsioonid ka $\Delta_y = \Delta_z = 1$ ja $\gamma_y = \gamma_z = 1$ puhul. Tulemused on koondatud tabelisse 4.

3. Võrrandisüsteemi koostamine

Süsteemi (13) kordajad r_{ik} ja vabaliikmed R_i kujutavad roostvärgi lisasidemete reaktsioone, mis tekivad sidemete-suunalistest paigutustest ja väliskoormusest. Kordajad r_{ik} võib leida vaiade reaktsioonide summana, mis mõjub roostvärgile:

Ühikpaigutuste põhjustatud reaktisioonid valapees

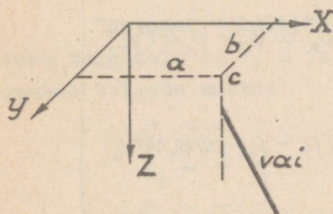
	$\Delta_x = 1$	$\Delta_y = 1$	$\Delta_z = 1$	$\beta_x = 1$	$\beta_y = 1$	$\beta_z = 1$
N_x	$-\rho_1 \cos^2 \psi_x - \rho_2 \sin^2 \psi_x$	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_x \cos \psi_y$	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_x \cos \psi_z$	0	$-\rho_3 \cos \psi_z$	$\rho_3 \cos \psi_y$
N_y	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_x \cos \psi_y$	$-\rho_1 \cos^2 \psi_y - \rho_2 \sin^2 \psi_y$	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_y \cos \psi_z$	$\rho_3 \cos \psi_z$	0	$-\rho_3 \cos \psi_x$
N_z	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_x \cos \psi_z$	$(-\rho_1 + \rho_2) \times \cos \psi_y \cos \psi_z$	$-\rho_1 \cos^2 \psi_z - \rho_2 \sin^2 \psi_z$	$-\rho_3 \cos \psi_y$	$\rho_3 \cos \psi_x$	0
M_x	0	$\rho_3 \cos \psi_z$	$-\rho_3 \cos \psi_y$	$-\rho_5 \cos^2 \psi_x - \rho_4 \sin^2 \psi_x$	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_x \cos \psi_y$	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_x \cos \psi_z$
M_y	$-\rho_3 \cos \psi_z$	0	$\rho_3 \cos \psi_x$	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_x \cos \psi_y$	$-\rho_5 \cos^2 \psi_y - \rho_4 \sin^2 \psi_y$	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_y \cos \psi_z$
M_z	$\rho_3 \cos \psi_y$	$-\rho_3 \cos \psi_x$	0	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_x \cos \psi_z$	$(-\rho_5 + \rho_4) \times \cos \psi_y \cos \psi_z$	$-\rho_5 \cos^2 \psi_z - \rho_4 \sin^2 \psi_z$

$$\left. \begin{aligned}
 r_{1K} &= -\sum N_{xK}; \\
 r_{2K} &= -\sum N_{yK}; \\
 r_{3K} &= -\sum N_{zK}; \\
 r_{4K} &= -\sum M_{xK} - \sum N_{yK}c + \sum N_{zK}b; \\
 r_{5K} &= -\sum M_{yK} + \sum N_{xK}c - \sum N_{zK}a; \\
 r_{6K} &= -\sum M_{zK} - \sum N_{xK}b + \sum N_{yK}a,
 \end{aligned} \right\} (16)$$

kus a, b ja c märgivad vaia pea koordinaate (joon.13).

N_{xK} , N_{yK} jne. on vaiade reaktsioonid N_x , N_y jne., mis mõjuvad rostvärgile tema ühikpaigutusel suunas Z_K .

Summeerime üle kõikide vaiade. Rostvärgi paigutuse $Z_K = 1$ põhjustatud reaktsioonid vaiapeas leitakse tabelite 4 ja 5 abil.



Joon.13

Tabel 5

Vaiapea põhilised paigutused rostvärgi mitmesugustel paigutustel

Rostvärgi Vaiapea põhi- paigutus	$Z_1 = 1$	$Z_2 = 1$	$Z_3 = 1$	$Z_4 = 1$	$Z_5 = 1$	$Z_6 = 1$
Δ_x	1	-	-	-	-c	b
Δ_y	-	1	-	c	-	-a
Δ_z	-	-	1	-b	a	-
J_x	-	-	-	1	-	-
J_y	-	-	-	-	1	-
J_z	-	-	-	-	-	1

Võrrandistüsteemi kordajate arvutamisel kasutame täiendavalt tähistust:

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha_1 &= \rho_1 \cos^2 \varphi_x + \rho_2 \sin^2 \varphi_x; & b_1 &= \rho_1 \cos^2 \varphi_y + \rho_2 \sin^2 \varphi_y; \\
 c_1 &= \rho_1 \cos^2 \varphi_z + \rho_2 \sin^2 \varphi_z; \\
 \alpha_2 &= (\rho_1 - \rho_2) \cos \varphi_y \cos \varphi_z; & b_2 &= (\rho_1 - \rho_2) \cos \varphi_x \cos \varphi_z; \\
 c_2 &= (\rho_1 - \rho_2) \cos \varphi_x \cos \varphi_y; \\
 \alpha_3 &= \rho_3 \cos \varphi_x; & b_3 &= \rho_3 \cos \varphi_y; \\
 c_3 &= \rho_3 \cos \varphi_z; \\
 \alpha_4 &= \rho_5 \cos^2 \varphi_x + \rho_4 \sin^2 \varphi_x; & b_4 &= \rho_5 \cos^2 \varphi_y + \rho_4 \sin^2 \varphi_y; \\
 c_4 &= \rho_5 \cos^2 \varphi_z + \rho_4 \sin^2 \varphi_z; \\
 \alpha_5 &= (\rho_5 - \rho_4) \cos \varphi_y \cos \varphi_z; & b_5 &= (\rho_5 - \rho_4) \cos \varphi_x \cos \varphi_z; \\
 c_5 &= (\rho_5 - \rho_4) \cos \varphi_x \cos \varphi_y.
 \end{aligned} \right\} (17)$$

Ja nüüd arvutame tabelite 4 ja 5 ning valemite (16) abil võrrandistüsteemi kordajad:

$$\left. \begin{aligned}
 r_{11} &= \Sigma \alpha_1; \\
 r_{12} = r_{21} &= \Sigma c_2; & r_{22} &= \Sigma b_1; \\
 r_{13} = r_{31} &= \Sigma b_2; & r_{23} = r_{32} &= \Sigma \alpha_2; \\
 r_{14} = r_{41} &= \Sigma c c_2 - \Sigma b b_2; & r_{24} = r_{42} &= \Sigma c b_1 - \Sigma b a_2 - \Sigma c_3; \\
 r_{15} = r_{51} &= -\Sigma c \alpha_1 + \Sigma a b_2 + \Sigma c_3; & r_{25} = r_{52} &= \Sigma a a_2 - \Sigma c c_2; \\
 r_{16} = r_{61} &= -\Sigma b a_1 - \Sigma a c_2 - \Sigma b_3; & r_{26} = r_{62} &= -\Sigma a b_1 + \Sigma b c_2 + \Sigma \alpha_3; \\
 r_{33} &= \Sigma c_1; \\
 r_{34} = r_{43} &= -\Sigma b c_1 + \Sigma c a_2 + \Sigma b_3; \\
 r_{35} = r_{53} &= \Sigma a c_1 - \Sigma c b_2 - \Sigma \alpha_3; \\
 r_{36} = r_{63} &= -\Sigma a a_2 + \Sigma b b_2;
 \end{aligned} \right\} (18)$$

$$\left. \begin{aligned}
 r_{44} &= -2(\Sigma bb_3 + \Sigma cc_3 + \Sigma bca_2) + \Sigma b^2c_1 + \Sigma c^2b_1 + \Sigma a_4; \\
 r_{45} = r_{54} &= \Sigma ab_3 + \Sigma aca_2 - \Sigma abc_1 + \Sigma bcb_2 - \Sigma c^2c_2 + \Sigma ba_3 + \Sigma c_5; \\
 r_{46} = r_{64} &= \Sigma ac_3 + \Sigma aba_2 - \Sigma acb_1 + \Sigma bcc_2 - \Sigma b^2b_2 + \Sigma ca_3 + \Sigma b_5; \\
 r_{55} &= -2(\Sigma aa_3 + \Sigma cc_3 + \Sigma ocb_2) + \Sigma a^2c_1 + \Sigma c^2a_1 + \Sigma b_4; \\
 r_{56} = r_{65} &= \Sigma bc_3 + \Sigma abb_2 - \Sigma bca_1 + \Sigma acc_2 - \Sigma a^2a_2 + \Sigma c b_3 + \Sigma a_5; \\
 r_{66} &= -2(\Sigma aa_3 + \Sigma bb_3 + \Sigma abc_2) + \Sigma a^2b_1 + \Sigma b^2a_1 + \Sigma c_4.
 \end{aligned} \right\} (18)$$

Süsteemi vabaliikmed leiame jõudude projekteerimise teel telgedele X, Y, Z ja vastavate momentide arvutamise teel samade telgede suhtes:

$$\left. \begin{aligned}
 R_1 &= -T_x; & R_4 &= -M_x^*; \\
 R_2 &= -T_y; & R_5 &= -M_y^*; \\
 R_3 &= -T_z; & R_6 &= -M_z^*,
 \end{aligned} \right\} (19)$$

kus T_x , T_y ja T_z - roostvärgile mõjuvate jõudude komponendid telgedel X, Y ja Z;
 M_x^* , M_y^* ja M_z^* - vastavalt momendid.

4. Vaiade sisejõudude leidmine

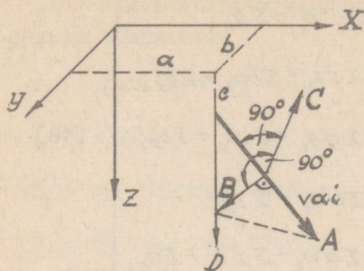
Et vaiade dimensioneerimisel saaks kasutada tavalisi tugevusõpetuse valemeid, selleks orienteerime sisejõud vai pikitelje ja teatud peatelgede paari (ristlõikes) suhtes. Iga vai jaoks valime järgmise koordinaatide süsteemi:

Telg A langeb kokku vai pikiteljega; positiivne suund - vai peast otsa poole;

telg D läbib vai pea ja on paralleelne Z-teljega;

telg B on risti teljega A ja asetseb tasapinnas A-D; positiivne suund moodustab teljega D teravnurga;

telg C on risti telgedega A ja B ning seega paralleelne tasapinnaga XY; telgede A ja B otstest (suunatud alla) vaadates on telje C positiivne suund vasakule (joon.14).



Joon.14

Vaia, mille pikitelg (telg A) on paralleelne Z-teljega, tuleb vaadelda kaldvaiana (tasapinnas, mis on paralleelne tasapinnaga YZ), kusjuures nurk telje Z suhtes on lõpmatu väike. Sel juhul $\varphi_x = \varphi_y = 90^\circ$ ja $\varphi_z = 0^\circ$.

Kahe teljestiku telgede vaheliste nurkade koosinused nii kald- kui ka püstvaiaade jaoks on toodud tabelis 6.

Tabel 6

Kahe teljestiku telgede vaheliste nurkade koosinused

	Kaldvaia puhul			Püstvaia puhul		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A	$\cos \varphi_x$	$\cos \varphi_y$	$\cos \varphi_z$	0	0	1
B	$-\frac{\cos \varphi_x}{\tan \varphi_z}$	$-\frac{\cos \varphi_y}{\tan \varphi_z}$	$\sin \varphi_z$	0	-1	0
C	$\frac{\cos \varphi_y}{\sin \varphi_z}$	$-\frac{\cos \varphi_x}{\sin \varphi_z}$	0	1	0	0

Vaiaade sisejõudude märkimiseks kasutame järgmist tähistust:

N_A - normaaljõud (langeb kokku teljega A);

Q_B ja Q_C - põikjõud, paralleelsed telgedega B ja C;

M_A ja M_C - paindemomendid, mõjuvad tasapindades AC ja AB, painutades vaia ümber telgede B ja C;

M_A - vähändemoment (pöörab ümber telje A).

N ja Q on positiivsed, kui vaia ülemise otsa mõju alumisele ühtib telgede A, B ja C positiivsete suundadega.

Momendid on positiivsed, kui, vaadates telgede A, B ja C positiivsetest otstest, vaia ülemisele otsale mõjuv moment püüab vaia alumist otsa pöörata kellaosuti suunas.

Vaiapea paigutused:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_x &= Z_1 - Z_5 c + Z_6 b; & \gamma_x &= Z_4; \\ \Delta_y &= Z_2 + Z_4 c - Z_6 a; & \gamma_y &= Z_5; \\ \Delta_z &= Z_3 - Z_4 b + Z_5 a; & \gamma_z &= Z_6. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Nende paigutuste abil arvutatakse vaiapea sisejõud:

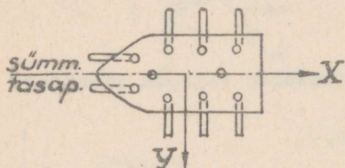
$$\left. \begin{aligned} N_A &= \rho_1 (\Delta_x \cos \varphi_x + \Delta_y \cos \varphi_y + \Delta_z \cos \varphi_z); \\ Q_B &= \rho_2 \left(-\Delta_x \frac{\cos \varphi_x}{\tan \varphi_z} - \Delta_y \frac{\cos \varphi_y}{\tan \varphi_z} + \Delta_z \sin \varphi_z \right) + \frac{\rho_3}{\sin \varphi_z} (\gamma_x \cos \varphi_y - \gamma_y \cos \varphi_x); \\ Q_C &= \frac{\rho_3}{\sin \varphi_z} (\Delta_x \cos \varphi_y - \Delta_y \cos \varphi_x) + \rho_3 \left(\gamma_x \frac{\cos \varphi_x}{\tan \varphi_z} + \gamma_y \frac{\cos \varphi_y}{\tan \varphi_z} - \gamma_z \sin \varphi_z \right); \\ M_A &= \rho_5 (\gamma_x \cos \varphi_x + \gamma_y \cos \varphi_y + \gamma_z \cos \varphi_z); \\ M_B &= \frac{\rho_3}{\sin \varphi_z} (-\Delta_x \cos \varphi_y + \Delta_y \cos \varphi_x) + \rho_4 \left(-\gamma_x \frac{\cos \varphi_x}{\tan \varphi_z} - \gamma_y \frac{\cos \varphi_y}{\tan \varphi_z} + \gamma_z \sin \varphi_z \right); \\ M_C &= \rho_3 \left(-\Delta_x \frac{\cos \varphi_x}{\tan \varphi_z} - \Delta_y \frac{\cos \varphi_y}{\tan \varphi_z} + \Delta_z \sin \varphi_z \right) + \frac{\rho_4}{\sin \varphi_z} (\gamma_x \cos \varphi_y - \gamma_y \cos \varphi_x). \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Sisejõud N_A , Q_B , Q_C ja M_A on vaiapeast kuni maapinna ni konstantsed. Paindemomendid muutuvad - kaugusel x vaiapeast on:

$$\left. \begin{aligned} M_{Bx} &= M_B - Q_C x; \\ M_{Cx} &= M_C + Q_B x. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

5. Ühe sümmeetriatasapinnaga kõrgroostvõrk

Sel juhul valime koordinaatide süsteemi X, Y, Z nii, et tasapind XZ langeks kokku arvutusliku sümmeetriatasapinnaga.



Joon.15

Sümmeetria tõttu muutuvad järgmised võrrandisüsteemi kordajad nulliks:

$$r_{12} = r_{21}; \quad r_{14} = r_{41}; \quad r_{16} = r_{61};$$

$$r_{23} = r_{32}; \quad r_{25} = r_{52}; \quad r_{34} = r_{43};$$

$$r_{36} = r_{63}; \quad r_{46} = r_{64}; \quad r_{56} = r_{65}.$$

Võrrandisüsteem (13) võtab sel juhul kuju:

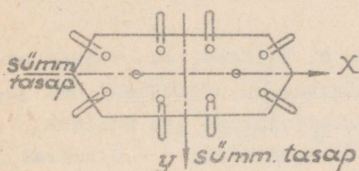
$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{13}Z_3 + r_{15}Z_5 + R_1 &= 0; \\ r_{31}Z_1 + r_{33}Z_3 + r_{35}Z_5 + R_3 &= 0; \\ r_{51}Z_1 + r_{53}Z_3 + r_{55}Z_5 + R_5 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (23a)$$

$$\left. \begin{aligned} r_{22}Z_2 + r_{24}Z_4 + r_{26}Z_6 + R_2 &= 0; \\ r_{42}Z_2 + r_{44}Z_4 + r_{46}Z_6 + R_4 &= 0; \\ r_{62}Z_2 + r_{64}Z_4 + r_{66}Z_6 + R_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (23b)$$

Tasapinna AZ suhtes sümmeetrilised koormused R_1 , R_3 ja R_5 põhjustavad muidugi ainult paigutusi, mis samuti on sümmeetrilised tasapinna AZ suhtes. Tasapinna AZ suhtes ebasümmeetrilised R_2 , R_4 ja R_6 annavad ka ebasümmeetrilised paigutused.

6. Kahe sümmeetriatasapinnaga kõrgroostvärk

Sel juhul valime süsteemi X, Y, Z nii, et XY langeks ühte ja YZ teise sümmeetriatasapinda. Ühe sümmeetriatasapinnaga roostvärgiga võrreldes muutuvad nüüd täiendavalt nulliks veel järgmised kordajad:



Joon.16

$$r_{13} = r_{31}; \quad r_{35} = r_{53};$$

$$r_{26} = r_{62}; \quad r_{46} = r_{64}.$$

Võrrandisüsteem (13) esineb sel juhul kujus:

$$\left. \begin{aligned} r_{11} Z_1 + r_{15} Z_5 + R_1 &= 0; \\ r_{51} Z_1 + r_{55} Z_5 + R_5 &= 0; \\ r_{22} Z_2 + r_{24} Z_4 + R_2 &= 0; \\ r_{42} Z_2 + r_{44} Z_4 + R_4 &= 0; \\ r_{33} Z_3 + R_3 &= 0; \\ r_{66} Z_6 + R_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Ruumlikku süsteemi võib arvutada ka kahe tasapinnalise skeemi abil, kusjuures tulemused on lähedased võrranditega (24) saadud tulemustele. Tunduvat lihtsustust see arvutusse aga ei too ja mõnel juhul üldse mitte. Selle põhjenduseks:

1. Rostvärgi arvutamisel väände, mida tuleb teha ruumliku skeemi järgi, tuleb ikkagi leida vaiade koordinaadid a , b , c ja nurgad φ_x , φ_y , φ_z . Samu suurusi aga läheb vaja ka süsteemi arvutamisel ruumliku konstruktsioonina.
2. Kordajate r_{ik} üldarv on mõlemal juhul sama.
3. Ruumliku süsteemi arvutamisel on kordajate r_{ik} avaldised vaja koostada ainult roostvärgi ühes veerandis (näit. telgede XY positiivsete suundade vahel) olevate vaiade jaoks.
4. Ruumliku süsteemina arvutamisel saadakse vaiade sisejõud otse nende põhitelgede suhtes orienteeritutena. Tasapinnalise süsteemi puhul tuleb saadud sisejõud alles vaiade

põhitelgedele "ära jaotada", mis on küllalt tülikas, eriti kaldvaiade puhul.

7. Püstvaiadega kõrgroostvärk

Sel juhul $\varphi_x = \varphi_y = \frac{\pi}{2}$ ja $\varphi_z = 0$. Eeldame, et vaiadel samad mõõtmised ja otste kinnitustingimused on ühesugused. Sel juhul muutub võrrandisüsteemi kõrvalkordajatest osa nulliks (see järgneb seoseist (17) ja (18) koordinaadi $c = 0$ korral).

Nullist erinevad kõrvalkordajad on:

$$\begin{array}{ll} r_{15} = r_{31} = r \rho_3; & r_{34} = r_{43} = -\rho_1 \Sigma b; \\ r_{16} = r_{61} = -\rho_2 \Sigma b; & r_{45} = r_{54} = -\rho_1 \Sigma ab; \\ r_{24} = r_{42} = -r \rho_3; & r_{46} = r_{64} = \rho_3 \Sigma a; \\ r_{26} = r_{62} = -\rho_2 \Sigma a; & r_{56} = r_{65} = \rho_3 \Sigma b, \end{array}$$

kus n - vaiade üldarv.

Kui telgede X ja Y suundadeks valida liitristlõike teljed (liitristlõige võrdub vaiade ristlõigetega summaarse pinnaga), siis vaiade staatilised momendid ja polaarinertermomendid telgede X ja Y suhtes on nullid:

$$\Sigma a = \Sigma b = 0; \quad \Sigma ab = 0.$$

Sel juhul muutub eeltoodud kõrvalkordajast r_{ik} osa veel nulliks ja võrrandisüsteem saab kuju (24). Seega selgub, et niisuguse kõrgroostvärgi arvutus kahele "peatasapinnale" XZ ja YZ projekteerimise teel (välja arvatud väändemomendi koormus!) annab täpsuse poolest sama tulemuse kui arvutus ruumliku süsteemina.

Järeldus: liitristlõike peainertstelgi läbivatel tasapindadel on sümmeetriatasapindadega analoogilised omadused. Kaldvaiadega roostvärkide puhul see analoogia ei kehti, kuid ligikaudse lahenduse võib ka sel juhul saada telgede X ja Y sobitamisel liitristlõike peainertstelgedega.

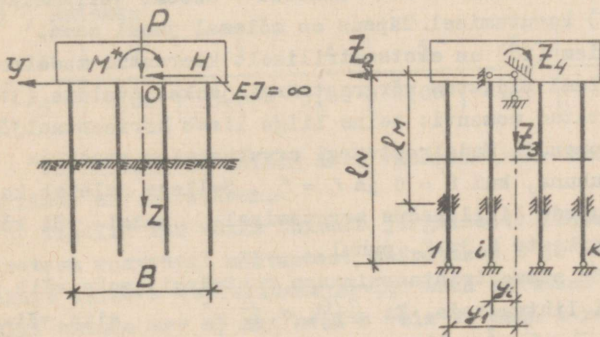
Pärast võrrandisüsteemi (23) või (24) lahendamist arvestatakse (20) abil vaiade paigutused. Paigutuste kaudu arvestatakse nüüd tabel 4 abil vaiade teostatavuse ja iseseisvuse.

$$\left. \begin{aligned}
 N_x &= \rho_2 \Delta_x + \rho_3 \gamma_y; \\
 N_y &= \rho_2 \Delta_y - \rho_3 \gamma_x; \\
 N_z &= \rho_1 \Delta_z; \\
 M_x &= -\rho_3 \Delta_y + \rho_4 \gamma_x; \\
 M_y &= \rho_3 \Delta_x + \rho_4 \gamma_y; \\
 M_z &= \rho_5 \gamma_z.
 \end{aligned} \right\} (25)$$

8. Ligikaudsed meetodid

Tihti projekteeritakse silla jõesambad sümmeetrilistena ja ainult ühepikkuste püstvaiadega, kui nüüd arvesse võtta, et tehnilised tingimused /1, p.36/ ei nõua vaia kontrollimist põikjõule ja väändemomendile, siis võib piirduda ainult vaia normaaljõu ja paindemomendi arvutamisega. Väändemomendist loobumine tähendab seda, et me võime arvutamisel lugeda kõik välisjõud sümmeetriasapinnas mõjuvateks. Neist kitsendusist lähtudes on esitatud mitmeid ligikaudseid arvutusmeetodeid /13, 14, 15/. Eriti väärib tähelepanu E.V. Kosterini ettepanek /14/, mida vaatleme pisut lähemalt.

Arvutuseluseks jäävad samad eeldused, milledest lähtusime käesoleva töö algul. Arvutuskeem on toodud joon.17, vaadatuna X-telje otsast nullpunkti poole.



Joon.17

Kui lahendada joon.17 toodud põhiskeemi puhul võrrandid (24) üldkujul, saadakse pärast teisendusi järgmised valemid:

Vaia sisejõud

$$N_i = \frac{D}{\pi} - \frac{M_0 y_i}{J_p}; \quad (26)$$

paindemoment vaiapeas

$$M = \frac{H l_M}{2\pi} + \frac{M_0 l_N J}{J_p l_M F}; \quad (27)$$

paindemoment vaia kinnituskohas

$$M_1 = \frac{H l_M}{2\pi} - \frac{M_0 l_N J}{J_p l_M F}; \quad (28)$$

rostvärgi tsentri horisontaalsiire

$$Z_2 = \frac{1}{EF} \left(\frac{H F l_M^3}{12 \pi J} - \frac{M_0 l_N l_M}{2 J_p} \right); \quad (29)$$

rostvärgi pööre

$$Z_1 = \frac{M_0 l_N}{E F J_p}; \quad (30)$$

kus: $M_0 = M^* - 0,5 H l_M;$ (31)

$$J_p = \sum_{i=1}^n y_i^2 + \frac{\pi J l_N}{F l_M}. \quad (32)$$

Saadud valemid on kohased ka ühe sümmeetriateljega rostvärgide arvutamiseks sümmeetriatasapinnas mõjuvale koormusele. Sel juhul tuleb koordinaatide algpunkt 0 paigutada vaiagrupi tsentrisse. Valemitega (26) - (32) arvutamisel on töömaht mõnevõrra väiksem kui ruumliku skeemi võrrandisüsteemi (23 ja 24) kasutamisel. Täpsus on mõlemal juhul sama.

Valem (26) on ekstsentriliselt koormatud madalrostvärgi arvutusvalemi üldistus kõrgrostvärgi jaoks. Avaldis (31) kujutab üldistatud momenti: teine liige lisab horisontaaljõu H tekitatud momendi. Madalrostvärgi arvutusvalem saadakse seosest (26) erijuhuna, kui $H = 0$ ja $l_N = l_M$. Sellega seletub ka vaiade normaaljõudude ligilähedus arvutamisel madal- või kõrgrostvärgina väikeste H ja l_M puhul.

Kahe sümmeetriatasapinnaga rostvärgi jaoks võib ülesannet veelgi lihtsustada. Et $\frac{\pi J l_N}{F l_M} \ll \sum_{i=1}^n y_i^2$, siis võtame ligikaudu $J_p = \sum_{i=1}^n y_i^2$. Olgu rostvärgi miinimummõõtmete saamiseks vaiad samuti minimaalse sammuga s ja vaiaridade arv k (joon.17).

Kui vaiade arv reas on võrdne, siis

$$\sum_{j=1}^k y_j^2 = 2 \frac{\pi}{k} \sum_{j=0}^{k-1} (j\beta)^2, \quad (33)$$

kusjuures paarisarvulise k puhul tuleb võtta $j = 1, 3, 5, \dots$ ($k - 1$) ja paarituarvulise k puhul $j = 0, 2, 4, \dots (k - 1)$.

Kuna arvutusskeemi kohaselt $\beta = \frac{B}{2(k-1)}$, siis võib näidata, et nii paaris kui ka paaritu k puhul

$$\sum_{j=0}^{k-1} j^2 = \frac{k(k^2-1)}{6} \quad \text{ja} \quad \sum_{i=1}^n y_i^2 = \frac{\pi B^2}{2\beta}, \quad (34)$$

kus
$$\beta = 6 \frac{k-1}{k+1}. \quad (35)$$

Vaia ekstreemumsisejõud saame, kui valemis (26) kasutame avaldist (34) ja $y_1 = \frac{B}{2} = -y_k$:

$$N_{\min}^{\max} = \frac{P}{\pi} + \frac{3M_0}{\pi B}. \quad (36)$$

Selle avaldise abil võiks leida ka roostvärgis vajaliku vaiade arvu

$$n = \frac{1}{\beta_{vai}} \left(P + \frac{3}{B} M_0 \right), \quad (37)$$

kus β_{vai} - vaia kandevõime.

Kõrgroostvärgi projekteerimisel tuleb ette anda vaiade arv, siis koostada roostvärgi staatiline skeem ja teha arvutus. Seda võtet tuleb tavaliselt mõned korrad korrata. Sel juhul on äsja leitud avaldised käepärased.

Valem (37) on kasutatav nii madal- kui ka kõrgroostvärgi puhul. Seesest (35) on näha, et k suurenemisel suureneb ka β , näiteks

k	2	3	4	5	6	...	∞
β	2,00	3,00	3,60	4,00	4,29	...	6,00

Järelikult on vaiade arvu vähendamiseks soodne valida vaiaridade arv k väiksem.

Tegelik töö võiks toimuda järgmiselt: lähtudes minimaalsetest roostvärgi mõõtmetest, määratakse B ja valitakse võimalikult väike k (vaiaridade arv); nüüd leitakse (37) abil vajalik vaiade arv n ; kui need n vaia ei mahu k ritta, siis tuleb k suurendada jne.

Kui tekib vajadus roostvärgi plaanilisi mõõtmeid suu-
rendada, tehtagu seda B arvel, sest see vähendab (37) põhjal
vaiade arvu n .

Kui lõplik n on leitud, siis momentide ja paigutuste
arvutamiseks kasutada avaldisi (27) - (30) koos (34)-ga.

Kui vaiaridade vahekaugus pole konstantne või vaiade
arv reas erinev, siis võib avaldist (37) kasutada esimese läh-
endusena. Pärast roostvärgi skeemi selgumist tuleb muidugi
arvutust täpsustada avaldistega (26) - (30).

Espool vaatlesime jäiga kõrgroostvärgi staatilist ar-
vutust ja määrasime vaiades tekkivad sisejõud. Vaiade dimen-
sioneerimise ja kandevõime määramise osas kõrgroostvärk olu-
liselt uut kaasa ei too. Märgime ainult, et konstruktsiooni
tugevuse ja püsivuse arvutustes tuleb kasutada vaiade arvust
sõltuvat lisavarutegurit m :

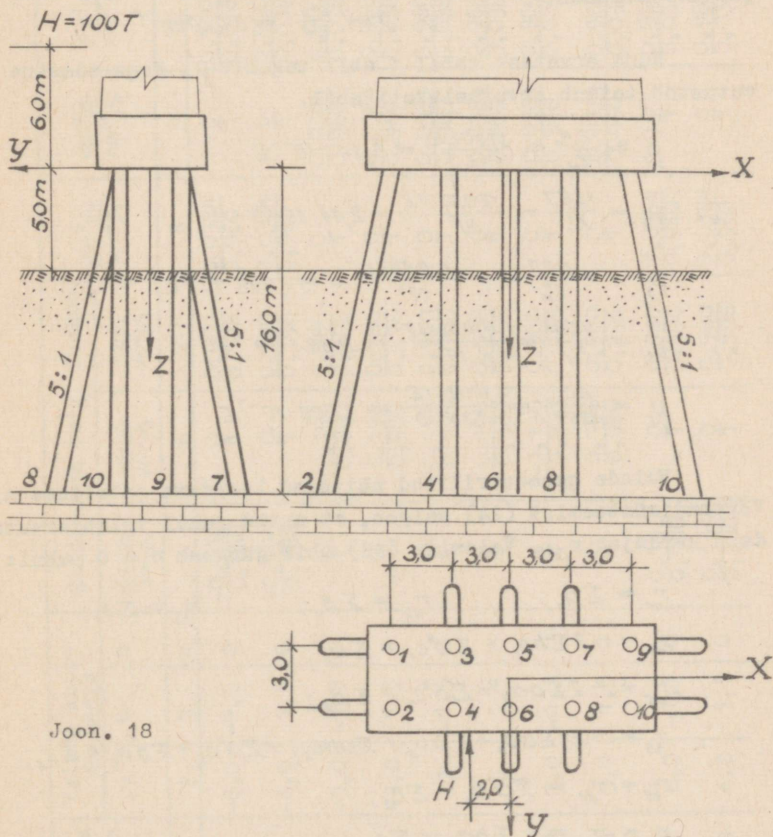
Vaiade arv	1-5	6-10	11-20	≥ 21
m	1,3	1,2	1,1	1,0

Vaia arvutuslikuks nõtkepikkuseks võetakse $l = l_M$. Kui
aga roostvärgis on kaldvaiad, mis takistavad roostvärgi hori-
sontaalsiiret mistahes suunas, siis $l = 0,5 l_M / \sin \alpha$.

Muus osas tuleb juhendada sillaehituses kehtivatest
normidest ja tehnilistest tingimustest.

IV. ARVUTUSNAIDE

Näitena vaatleme kümnele kaldvaiale toetuvat sillasamba roostvärki. Vaiadeks on 80 cm läbimõõduga raudbetoon-toruvaiad, mis pärast süvitamist täis betoneeritakse. Vaia ülemine ots on sisse betoneeritud monoliitsesse raudbetoon-rostvärki, alumine toetub roostvärki tallast 16 m sügavusel asuvalle paekihile. Kõikide vaiade kaldeks on 5:1. Skeem ja mõõdud selguvad joon.18.



Joon. 18

Pinnase elastsete omaduste kohta andmete puudumise tõttu määrame vaia arvutuslikud pikkused /1/ alusel:

$$1) \text{ survepikkus } l_N = l + l_1 = 16 \text{ m};$$

2) painde- ja väändepikkus

$$l_M = l_G = l + 6d = 5,0 + 6 \cdot 0,8 \approx 10 \text{ m}.$$

Koordinaatide võrgu valime joon.18 näidatud kujul. Et süsteemil on kaks sümmeetriatasapinda, siis kanooniliste võrrandite süsteem esineb kujul (24).

Vaia ristlõikepind

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = 0,502 \text{ m}^2$$

ja inertsimoment

$$J = \frac{\pi d^4}{64} = 0,0201 \text{ m}^4.$$

Nüüd arvutame tabel 1 abil tegurid ρ . Kogu edasine arvutustöö toimub arvutuslükati abil.

$$\rho_1 = \frac{EF}{l_N} = \frac{0,502E}{16} = 3,14 \cdot 10^{-2} E;$$

$$\rho_2 = \frac{12EJ}{l_M^3} = \frac{12 \cdot 0,0201E}{10^3} = 2,41 \cdot 10^{-4} E;$$

$$\rho_3 = -\frac{6EJ}{l_M^2} = -\frac{6 \cdot 0,0201E}{10^2} = -1,206 \cdot 10^{-3} E;$$

$$\rho_4 = \frac{4EJ}{l_M} = \frac{4 \cdot 0,0201E}{10} = 0,804 \cdot 10^{-2} E;$$

$$\rho_5 = \frac{EJ}{1,25l_G} = \frac{0,0201E}{1,25 \cdot 10} = 1,608 \cdot 10^{-3} E.$$

Vaiade geomeetrilised näitajad koondame tabelisse a. Võrrandisüsteemist (24) selgub, et antud juhul tuleb arvutada 8 kordajat r_{ik} . Valemite (18) abil järgneb $c = 0$ puhul:

$$r_{11} = \sum a_1; \quad r_{22} = \sum b_1; \quad r_{33} = \sum c_1;$$

$$r_{44} = -2 \sum b b_3 + \sum b^2 c_1 + \sum a_4;$$

$$r_{55} = -2 \sum a a_3 + \sum a^2 c_1 + \sum b_4;$$

$$r_{66} = -2(\sum a a_3 + \sum b b_3 + \sum a b c_2) + \sum a^2 b_1 + \sum b^2 a_1 + \sum c_4;$$

$$r_{15} = r_{51} = \sum a b_2 + \sum c_3;$$

$$r_{24} = r_{42} = -\sum b a_2 - \sum c_3.$$

T a b e l a

Vaia nr.	Vaiade koor- dinaadid			Kaldenurga trig. funkts.			9	10	11	12	13
	a	b	c	5	6	7					
1	2	3	4								
1	-6,0	-1,5	0	$-\frac{0,196}{0,980}$	0	$\frac{0,980}{0,196}$	0	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	-0,192	0
2	-6,0	1,5	0	$-\frac{0,196}{0,980}$	0	$\frac{0,980}{0,196}$	0	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	-0,192	0
3	-3,0	-1,5	0	0	$-\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
4	-3,0	1,5	0	0	$\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
5	0	-1,5	0	0	$-\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
6	0	1,5	0	0	$\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
7	3,0	-1,5	0	0	$-\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
8	3,0	1,5	0	0	$\frac{0,196}{0,980}$	$\frac{0,980}{0,196}$	$\frac{0,0384}{0,960}$	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	0	-0,192
9	6,0	-1,5	0	$\frac{0,196}{0,980}$	0	$\frac{0,980}{0,196}$	0	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	-0,192	0
10	6,0	1,5	0	$\frac{0,196}{0,980}$	0	$\frac{0,980}{0,196}$	0	$\frac{0,960}{0,0384}$	0	-0,192	0

Kordajate r_{ik} arvutuse koondame tabelisse b.

Saame:

$$r_{11} = 72,02 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{22} = 95,98 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{33} = 3020 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{44} = (2 \cdot 21,2 + 6800 + 793,6) \cdot 10^{-4} E = 7636 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{55} = (2 \cdot 56,8 + 54400 + 788,4) \cdot 10^{-4} E = 55302 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{66} = (2 \cdot 56,8 + 2 \cdot 21,2 + 864,8 + 162,1 + 185,0) 10^{-4} E = 1368 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{15} = r_{51} = (1436 - 118,1) \cdot 10^{-4} E = 1318 \cdot 10^{-4} E;$$

$$r_{24} = r_{42} = (-538,8 + 118,1) \cdot 10^{-4} E = 421 \cdot 10^{-4} E.$$

Arvutuse teeme eraldi kolme jõukomponendi ning kolme momendiga, mis on ühtlasi ka võrrandite vabaliikmeteks. Seega

$$R_1 = -T_x; \quad R_2 = -T_y; \quad R_3 = -T_z;$$

$$R_4 = -M_x^*; \quad R_5 = -M_y^*; \quad R_6 = -M_z^*.$$

Arvutamise mugavuse eesmärgil korrutame kõiki süsteemi kordajaid teguriga 10^4 . Järelikult esinevad kordajad süsteemis $\frac{10^4}{E}$ korda suurendatutena.

Võrrandisüsteemi saame kujus:

$$\begin{cases} 72,02 Z_1 + 1318 Z_5 - 10^4 T_x = 0; \\ 1318 Z_1 + 55302 Z_5 - 10^4 M_y^* = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 95,98 Z_2 - 421 Z_4 - 10^4 T_y = 0; \\ -421 Z_2 + 7636 Z_4 - 10^4 M_x^* = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3020 Z_3 - 10^4 T_z = 0; \\ 1368 Z_6 - 10^4 M_z^* = 0. \end{cases}$$

Tabel b .

Kõiki suursi tabelis tuleb korrutada

teguriga $\frac{F}{10^4}$

Vaia nr.	a_1	b_1	c_1	$b^2 a_1$	$a^2 b_1$
1	14,39	2,41	302	32,4	86,8
2	14,39	2,41	302	32,4	86,8
3	2,41	14,39	302	5,42	129,4
4	2,41	14,39	302	5,42	129,4
5	2,41	14,39	302	5,42	0
6	2,41	14,39	302	5,42	0
7	2,41	14,39	302	5,42	129,4
8	2,41	14,39	302	5,42	129,4
9	14,39	2,41	302	32,4	86,8
10	14,39	2,41	302	32,4	86,8
Σ	72,02	95,98	3020	162,1	864,8

Tabel b, järg

Vaia nr.	$a^2 c_1$	$b^2 c_1$	$b a_2$	$a b_2$	$a b c_2$
1	10880	680	0	359	0
2	10880	680	0	359	0
3	2720	680	89,8	0	0
4	2720	680	89,8	0	0
5	0	680	89,8	0	0
6	0	680	89,8	0	0
7	2720	680	89,8	0	0
8	2720	680	89,8	0	0
9	10880	680	0	359	0
10	10880	680	0	359	0
Σ	54400	6800	538,8	1436	0

Tabel b, järg

Vaia nr.	aa_3	bb_3	c_3	a_4	b_4	c_4
1	-14,19	0	-11,81	77,8	80,4	18,50
2	-14,19	0	-11,81	77,8	80,4	18,50
3	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
4	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
5	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
6	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
7	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
8	0	-3,54	-11,81	80,4	77,8	18,50
9	-14,19	0	-11,81	77,8	80,4	18,50
10	-14,19	0	-11,81	77,8	80,4	18,50
Σ	-56,8	-21,2	-118,1	793,6	788,4	185,0

Saadud süsteemi lahendid on (E-kordsetena):

$$Z_1 = 246 T_x - 5,86 M_y^* ;$$

$$Z_2 = 137,2 T_y + 7,58 M_x^* ;$$

$$Z_3 = 3,31 T_z ;$$

$$Z_4 = 7,58 T_y + 1,73 M_x^* ;$$

$$Z_5 = -5,86 T_x + 0,32 M_y^* ;$$

$$Z_6 = 7,32 M_z^* ;$$

Nüüd on (20) abil võimalik üldkujul leida iga vaiapea paigutuskomponendid. Antud näites piirdume ainult ühe koormava jõuga $H = -T_y$, mis on aga nii rakendatud (joon.18), et tekitab ka paindemomendi M_x^* ja väändemomendi M_z^* .

Niisiis mõjuvad roostvärgile koormused:

$$T_x = 0; \quad M_x^* = 100 \cdot 6 = 600 \text{ Tm};$$

$$T_y = -100T; \quad M_y^* = 0$$

$$T_z = 0; \quad M_z^* = -100 \cdot 2 = -200 \text{ Tm}.$$

Selle koormuse puhul on:

$$Z_1 = 0;$$

$$Z_2 = -137,20 \cdot 100 + 7,58 \cdot 600 = -9172;$$

$$Z_3 = 0;$$

$$Z_4 = -7,58 \cdot 100 + 1,73 \cdot 600 = 280;$$

$$Z_5 = 0;$$

$$Z_6 = -7,32 \cdot 200 = -1464.$$

Järgnevalt arvutame avaldiste (20) abil vaiapeade E-kordsed paigutused. Arvutuse tulemused on koondatud tabelisse c.

Tabel c

Vaiapeade E-kordsed paigutused

Vaia nr.	Δ_x	Δ_y	Δ_z	\mathcal{J}_x	\mathcal{J}_y	\mathcal{J}_z
1	2196	-17956	420	280	0	-1464
2	-2196	-17956	-420	280	0	-1464
3	2196	-13564	420	280	0	-1464
4	-2196	-13564	-420	280	0	-1464
5	2196	-9172	420	280	0	-1464
6	-2196	-9172	-420	280	0	-1464
7	2196	-4780	420	280	0	-1464
8	-2196	-4780	-420	280	0	-1464
9	2196	-388	420	280	0	-1464
10	-2196	-388	-420	280	0	-1464

Kui roostvõrgi ja vaiade betooni margiks valida "250", mille elastsusmoodul $E = 290000 \text{ kg/cm}^2$, siis saame roostvõrgi iseloomulike punktide paigutuste absoluutsuurused:

$$\Delta_x = \pm \frac{2196}{2,9 \cdot 10^6} = \pm 0,00076 \text{ m} = \pm 0,76 \text{ mm};$$

$$\Delta_{y1} = -6,2 \text{ mm};$$

$$\Delta_{y5} = -3,2 \text{ mm};$$

$$\Delta_{y9} = -0,2 \text{ mm};$$

$$\Delta_z = \pm 0,15 \text{ mm};$$

$$\mathcal{J}_x = 0,0000965 \text{ rad} = 19'';$$

$$\mathcal{J}_y = 0;$$

$$\mathcal{J}_z = -0,000523 \text{ rad} = -1'45''.$$

Teades nüüd iga vaiapea paigutusi, võime valemite (21) ning tabelite a ja c abil arvutada vaiade sisejõud

$$N_A = 3,14 \cdot 10^{-2}(13564 \cdot 0,196 + 420 \cdot 0,980) = 96,5 \text{ T};$$

$$Q_B = 2,41 \cdot 10^{-4}(-13564 \cdot 0,980 + 420 \cdot 0,196 -$$

$$- \frac{1,206}{0,196} \cdot 10^{-3}(-280 \cdot 0,196) = -2,85 \text{ T};$$

$$Q_C = \frac{2,41}{0,196} \cdot 10^{-4}(-2196 \cdot 0,196) - 1,206 \cdot 10^{-3} \cdot 1464 \cdot 0,196 =$$

$$= -0,88 \text{ T};$$

$$M_A = 1,608 \cdot 10^{-3}(-1464 \cdot 0,980) = -2,31 \text{ Tm.}$$

$$M_B = - \frac{1,206}{0,196} \cdot 10^{-3} \cdot 2196 \cdot 0,196 + 0,804 \cdot 10^{-2}(-1464 \cdot 0,196) =$$

$$= -4,96 \text{ Tm};$$

$$M_C = -1,206 \cdot 10^{-3}(-13564 \cdot 0,980 + 420 \cdot 0,196) +$$

$$+ \frac{0,804}{0,196} \cdot 10^{-2}(-280 \cdot 0,196) = 13,70 \text{ Tm.}$$

Samal viisil on arvutatavad ka kõikide teiste vaiade sisejõud vaiapeas. Tulemused on toodud tabelis d.

Tabel d

Vaia nr.	N_A T	Q_B T	Q_C T	M_A Tm	M_B Tm	M_C Tm
1	-0,57	0,54	-4,35	-2,40	-21,7	-2,69
2	0,57	-0,54	-4,35	-2,40	-21,7	2,69
3	96,5	-2,85	-0,88	-2,31	-4,96	13,70
4	-96,5	2,85	-0,88	-2,31	-4,96	-13,70
5	69,5	-1,81	-0,88	-2,31	-4,96	8,50
6	-69,5	1,81	-0,88	-2,31	-4,96	-8,50
7	42,3	-0,77	-0,88	-2,31	-4,96	3,30
8	-42,3	0,77	-0,88	-2,31	-4,96	-3,30
9	26,4	-0,50	-0,58	-2,22	-4,04	2,50
10	-26,4	0,50	-0,58	-2,22	-4,04	-2,50

Sisejõud N_A , Q_B , Q_C , ja M_A on vaiapeast kuni kinnituskohani (õigemini maapinnani) konstantsed. Paindemomendid aga muutuvad avaldiste (22) kohaselt. Vaia nr.3 puhul oleksid paindemomendid vaia kinnituskohas pinnases ($l_M = 10$ m) järgmised:

$$M_{B_l} = -4,96 + 0,88 \cdot 10 = 3,84 \text{ Tm};$$

$$M_{C_l} = 13,70 - 2,85 \cdot 10 = -14,80 \text{ Tm.}$$

Võrdluseks on vaadeldav rostvärk arvatatud ka eeldusel, et kaldvaiade asemel on ainult püstvaiad. Kõik muud andmed jäävad endisteks. Püstvaiade puhul arvutustöö maht väheneb, eriti tabelite a ja b osas.

Pärast võrrandisüsteemi lahendamist ja Z-ide leidmist saadakse vaiapeade E-kordsed paigutused tabelis e toodud kujul.

Tabel e

Vaia nr.	Δ_x	Δ_y	Δ_z	γ_x	γ_y	γ_z
1	4620	-67614	2274	1516	0	-3080
2	-4620	-67614	2274	1516	0	-3080
3	4620	-58374	2274	1516	0	-3080
4	-4620	-58374	-2274	1516	0	-3080
5	4620	-49134	2274	1516	0	-3080
6	-4620	-49134	-2274	1516	0	-3080
7	4620	-39894	2274	1516	0	-3080
8	-4620	-39894	-2274	1516	0	-3080
9	4620	-30654	2274	1516	0	-3080
10	-4620	-30654	-2274	1516	0	-3080

Arvutame nüüd rostvärgi samade punktide paigutuste absoluutsuurused mis varemgi:

$$\Delta_x = \pm \frac{4620}{2,9 \cdot 10^6} = \pm 0,0016 \text{ m} = \pm 1,6 \text{ mm}; \quad \Delta_z = \pm 0,78 \text{ mm};$$

$$\Delta_{y1} = -23,3 \text{ mm};$$

$$\gamma_x = 0,000523 \text{ rad} = 1'45''$$

$$\Delta_{y5} = -17,0 \text{ mm};$$

$$\gamma_y = 0;$$

$$\Delta_{y9} = -10,6 \text{ mm};$$

$$\gamma_z = -0,001062 \text{ rad} = -3'32''$$

Tabelite 4 ja e abil arvatatud vaiapeade sisejõud on koondatud tabelisse f. Märkime, et kui kaldvaiade puhul tuli vaiade sisejõud anda lokaalses teljestikus ABC, siis kaldvaia kalde vähenemisel nulliks (muutub püstvaiaks) ühtib vaiadel

3 - 8 C-telg X-teljega ja B-telg Y-teljega ning vaiadel 1, 2, 9 ja 10 vastupidi. Telg A ühtib kõigil vaiadel teljega Z.

Tabel f

Vaiala nr.	N_z T	Q_x T	Q_y T	M_z Tm	M_x Tm	M_y Tm
1	71,3	1,11	-14,48	-4,95	-69,4	-5,57
2	-71,3	-1,11	-14,48	-4,95	-69,4	5,57
3	71,3	1,11	-12,23	-4,95	-58,2	-5,57
4	-71,3	-1,11	-12,23	-4,95	-58,2	5,57
5	71,3	1,11	-10,01	-4,95	-47,1	-5,57
6	-71,3	-1,11	-10,01	-4,95	-47,1	5,57
7	71,3	1,11	-7,80	-4,95	-35,9	-5,57
8	-71,3	-1,11	-7,80	-4,95	-35,9	5,57
9	71,3	1,11	-5,58	-4,95	-24,8	-5,57
10	-71,3	-1,11	-5,58	-4,95	-24,8	5,57

Vaia nr.3 kinnituskoha paindemomendid:

$$M_{x\ell} = -58,2 + 12,23 \cdot 10 = 64,1 \text{ Tm};$$

$$M_{y\ell} = -5,57 + 1,11 \cdot 10 = 5,5 \text{ Tm}.$$

Kald- ja püstvaiadega rostvärkide arvutustulemuste võrdlus näitab, et kaldvaiadega rostvärk on suurema jäikusega (tähtis eeskätt horisontaalkoormuste puhul!): horisontaalsire ja pöördenurk vähenevad ca 5 korda. Püstvaiadega rostvärgi vaiapea maksimaalne paindemoment on ca 3 korda suurem kaldvaiade maksimaalsest momendist. Ka vaiade normaaljõudude vähenemine on tunduv, välja arvatud vaiad nr.3 ja 4, kus väändemomendi tõttu kaldvaia normaaljõud kasvas ca 14% võrra.

Tehtud järeldused annavad ainult suuna, sest rostvärgi sisejõudude lõplikke optimaalseid suurusi saab määrata ikkagi ainult mitme konkreetse skeemi ja variandi võrdlemise teel.

1. Технические указания по проектированию высоких свайных ростверков мостовых опор (ТУВР-56), Трансжелдориздат, 1957.

2. Зурабов Г.Г. и Бугаева О.Е. Высокие свайные ростверки мостов, Дориздат, 1949.

3. Шпиро Г.С. Статический расчет высоких свайных ростверков. Труды ВНИИЖТ. Вып. 26, Трансжелдориздат, 1948.

4. Шпиро Г.С. Исследование схем высоких свайных ростверков. "Транспортное строительство", 1959, №4.

5. Царьков А.А. Исследование условий, определяющих выбор оптимальных схем свайных ростверков мостовых опор. Труды МИИТ. Вып. 85/6. Трансжелдориздат, 1956.

6. Тен И.А. Расчет высоких свайных ростверков опор мостов. Автотрансиздат, 1960.

7. Тен М.А. Современные фундаменты глубокого заложения в автодорожных мостах, Автотрансиздат, 1963.

8. Ostenfeld, A. Berechnung von Pfahlrosten, "Beton und Eisen", 1922 Н. 1 u. 2.

9. Nökkentved, Chr. Berechnung von Pfahlrosten, Berlin, 1928.

10. Vetter, C. Design of Pile Foundations, "Proceedings ASCE", 1938, Nr.2.

11. Schiel, Fr. Statik der Pfahlwerke, Berlin, 1960.

12. Федоровский Д.В. Основания и фундаменты, Ленинград, 1961.

13. Харлаб В.Л. К расчету высоких свайных ростверков, "Автомобильные дороги", 1957, №5.

14. Костерин Э.В. О расчете высоких свайных ростверков опор мостов с вертикальными сваями, "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1960, №3.

15. Семенов А.Н. Приближенный расчет жесткого симметричного ростверка на вертикальных сваях, "Основания, фундаменты и механика грунтов", 1964, № 6.

S I S U K O R D

	lk.
Bessõna	2
I. ARVUTUSALUSED	3
1. Üldmõisted	3
2. Kõrgrostvärgi skeemi valikust	4
3. Vaia otste kinnitustingimused	5
4. Vaiapea paigutamisel tekkivad sisejõud	8
5. Kõrgrostvärgi arvutusskeem	12
II. KÕRGROSTVÄRGI ARVUTUS TASAPINNALISE SKEEMI	15
ALUSEL	15
1. Põhisüsteem	15
2. Sisejõud põhisüsteemis roostvärgi ühikpaigutuste korral	17
3. Võrrandisüsteemi koostamine	18
4. Elastse keskme küsimus kõrgrostvärgi puhul	21
III. KÕRGROSTVÄRGI ARVUTUS RUUMLIKU KONSTRUKTSIOONINA	23
1. Põhisüsteem	23
2. Vaia reaktsioon vaiapea ühikpaigutusele	24
3. Võrrandisüsteemi koostamine	25
4. Vaiade sisejõudude leidmine	29
5. Ühe sümmeetriatasapinnaga kõrgrostvärk	32
6. Kahe sümmeetriatasapinnaga kõrgrostvärk	33
7. Püstvaiadega kõrgrostvärk	34
8. Ligikaudsed meetodid	35
IV. ARVUTUSNÄIDE	39
Kirjandus	49

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра строительных конструкций

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКИХ СВАЙНЫХ РОСТВЕРКОВ
На эстонском языке

Vastutav toimetaja M. Kaska

Trükkimisele antud 10. IV 67. Paber 60x84
Trükipg. 3,25. Tingpg. 3,02. Tiraaž 300
MB-03273. TPI rotaprint, 1967
Tell. 173. Hind 10 kop.

TRU Raamatukogu

Hind 10 kop.

A-29020

TÜ RAAMATUKOGU

1 0300 00313836 1